



PLANOS DE AÇÃO

DA

REDE FERROVIÁRIA NACIONAL

PLANO DE AÇÃO DA LINHA DE CASCAIS

Março 2020

PLANOS DE AÇÃO DA REDE FERROVIÁRIA NACIONAL

PLANO DE AÇÃO DA LINHA DE CASCAIS

Equipa de trabalho principal:

Alexandre M. Silva Pereira, *Eng., DFA Eng. Acústica*

António José Ferreira, *DFA Eng. Acústica*

Aline Ventura Nardi, *Arq, MArq.*

J. L. Bento Coelho *Eng., MSc., PhD., IIAV Fellow (Coordenador)*

CONTEÚDO

RESUMO	4
1. ÂMBITO E OBJETIVOS	9
2. ENQUADRAMENTO LEGAL	11
3. O RUÍDO FERROVIÁRIO DA LINHA DE CASCAIS	16
4. METODOLOGIA DO PLANO DE AÇÃO	21
4.1. PRINCÍPIOS.....	21
4.2. METODOLOGIA GERAL.....	21
5. ENVOLVENTE ACÚSTICA DA LINHA DE CASCAIS	24
5.1. ANÁLISE ACÚSTICA.....	24
5.2. MEDIDAS JÁ IMPLEMENTADAS E EM CURSO.....	25
5.3. MAPAS DE CONFLITO.....	26
6. ZONAS DE INTERVENÇÃO	34
7. AÇÕES PARA GESTÃO E REDUÇÃO DO RUÍDO FERROVIÁRIO	37
8. TIPOLOGIA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS	41
9. REDUÇÃO DO RUÍDO: INTERVENÇÕES E MEDIDAS	53
9.1 SOLUÇÕES TÉCNICAS.....	53
9.2 ANÁLISE DE EFICÁCIA.....	54
9.3 INFORMAÇÕES FINANCEIRAS.....	74
10. PLANEAMENTO DAS AÇÕES	75
10.1 HIERARQUIZAÇÃO TEMPORAL.....	75
10.2 AÇÃO ESTRATÉGICA A MÉDIO/LONGO PRAZO.....	76
10.3 MONITORIZAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PA.....	78
11. QUADRO RESUMO	79
BIBLIOGRAFIA	80

Resumo

O Plano de Ação de Redução do Ruído Ferroviário (doravante denominado Plano de Ação - PA) referente à Linha de Cascais é elaborado pela entidade responsável, nomeadamente a INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, SA, (IP), com o objetivo de dar cumprimento ao enquadramento legal que se impõe a esta entidade, no âmbito dos requisitos do Decreto-Lei n.º 146/2006 (DL146/2006), de 31 de Julho, que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a gestão e avaliação de ruído ambiente, mais especificamente a elaboração de estudos no âmbito dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e a elaboração do correspondente PA para as zonas expostas ao ruído gerado pelo tráfego ferroviário da Linha de Cascais. Esta Linha é um eixo ferroviário de cariz suburbano e periurbano, que estabelece a ligação entre a cidade de Lisboa e a Vila de Cascais. Tem o seu início no Cais do Sodré (em Lisboa), e o seu término em Cascais, com cerca de 25 km de extensão. Em grande parte do seu percurso, esta linha desenvolve-se ao longo da zona ribeirinha do rio Tejo, numa faixa sensivelmente paralela e próxima ao curso do estuário daquele.

Esta infraestrutura apresenta um volume de tráfego ferroviário superior a 30 000 passagens de comboios por ano, sendo como tal considerada uma Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário (GIF) à luz do estipulado no artigo 3º do Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, retificado pela Declaração de Rectificação n.º 18/2007, de 16 de Março, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto.

Este, no ponto 9 do seu Artigo 19.º estabelece ainda que “As grandes infra-estruturas de transporte ... ferroviário ... elaboram mapas estratégicos de ruído e planos de ação, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho”.

Os objetivos do presente Plano são alcançados através de estratégias otimizadas para gestão, controlo e redução da exposição ao ruído das populações eventualmente afetadas pela exploração da Linha de Cascais. O presente PA destina-se assim a gerir os problemas e efeitos do ruído, gerados pela referida GIF (Grande Infraestrutura de transporte Ferroviário), incluindo a redução do ruído, onde necessário.

O PA da Linha de Cascais foi desenvolvido na sequência da elaboração dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) daquela Linha.

A abordagem metodológica utilizada baseia-se na análise dos mapas de conflitos para os indicadores de ruído ambiente regulamentares L_{den} e L_n bem como para os limites de ruído legais vigentes, os quais contemplam a carta de classificação acústica do território municipal.

O grau de conflito foi codificado segundo os intervalos de 0 a 3 dB, de 3 a 5 dB e acima de 5 dB. De entre os dois indicadores de ruído ambiente regulamentares, foi escolhido, para esta Linha específica, o indicador L_{den} para se proceder à análise dos conflitos, por ser aquele que verifica o maior grau de conflito. De facto, o maior número de movimentos de comboios ocorre durante os períodos de dia e entardecer, pelo que aquele indicador contabiliza as situações mais desfavoráveis.

As zonas que apresentam valores de conflito até 3 dB, foram consideradas como de vigilância, tendo em conta as incertezas associadas a todo o processo de avaliação, quer experimental quer de cálculo, que pode assumir valores daquela ordem de grandeza. Tais valores poderão, contudo, indiciar desvios marginais que devem ser vigiados para não aumentarem. Não justificam, no entanto, na presente fase, qualquer ação concreta.

Para valores de desvio (conflito com valor limite legal) superiores, foram estudadas e desenvolvidas estratégias e ações com vista ao controlo e redução do ruído com origem ferroviária.

A análise das áreas em conflito identificou onze zonas de intervenção na envolvente da Linha de Cascais e sobre as quais incide o presente PA:

- Zona 1, entre o pk 7+270 e o pk 7+490, no Município de Lisboa.
- Zona 2, entre o pk 8+860 e o pk 9+600, no Município de Oeiras.
- Zona 3, entre o pk 11+335 e o pk 11+650, no Município de Oeiras.
- Zona 4, entre o pk 11+970 e o pk 14+610, no Município de Oeiras.
- Zona 5, entre o pk 14+870 e o pk 15+770, no Município de Oeiras.
- Zona 6, entre o pk 16+750 e o pk 17+020, entre os Municípios de Oeiras/Cascais.
- Zona 7, entre o pk 18+125 e o pk 19+310, no Município de Cascais.
- Zona 8, entre o pk 19+780 e o pk 20+200, no Município de Cascais.
- Zona 9, entre o pk 20+420 e o pk 22+360, no Município de Cascais.
- Zona 10, entre o pk 22+740 e o pk 23+275, no Município de Cascais.

- Zona 11, entre o pk 23+960 e o pk 24+100, no Município de Cascais.

Podem ser definidas distintas tipologias de intervenções direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído de origem ferroviária. As ações consideradas para a boa gestão do ambiente acústico podem ser do tipo (i) comunicação, sensibilização e participação pública, (ii) vigilância e monitorização, (iii) gestão de fontes emissoras de ruído e (iv) controlo e redução de ruído ferroviário.

As estratégias para a redução do ruído passam por criar perdas de transmissão no meio, quer por introdução de uma qualquer solução atenuadora no sistema roda-carril (em qualquer das suas componentes), quer por introdução de barreiras acústicas, dispositivos de atenuação de ruído interpostos no percurso de transmissão entre o emissor (linha ferroviária) e o recetor.

Privilegiaram-se, sempre que possível, as intervenções que atuem na redução de ruído na fonte (linha/material circulante).

Não foram consideradas, por questões de exequibilidade prática, operacional ou económica, ou por não se julgarem justificadas, outras medidas tais como a limitação de velocidades de circulação, alteração ao uso dos solos ou o reforço de isolamento sonoro de fachada.

No caso deste PA da Linha de Cascais, foi preconizado um conjunto de intervenções diversas, sob a designação de situação futura, em que a substituição do material circulante e ações diretas na via, constituem as medidas de controlo e redução de ruído: (i) renovação integral da via e a (ii) substituição, a cargo do operador CP, do material circulante, ou seja, as automotoras da série UTE/UQE 3150/3250. É, ainda, recomendado um programa regular de esmerilagem da via de modo a minimizar o desgaste ondulatório do carril. Estas medidas são de âmbito global, pois implicam a totalidade da via-férrea.

As medidas de minoração sonora são as que se afiguram como exequíveis do ponto de vista prático, bem como económica e socialmente viáveis, encontrando-se também contempladas nas orientações estratégicas da IP em matéria de políticas de ambiente.

Para a situação futura, são consideradas medidas que, embora não diretamente relacionadas com as ações de engenharia acústica, são importantes, a médio e longo prazo, para a eficácia real e percebida das mesmas, tal como a elaboração de um plano de manutenção/monitorização de medidas de minoração implementadas bem como ações a desenvolver junto do público, de modo a promover a *goodwill*. Estas podem incluir a comunicação de intervenções na via relevantes para a minoração do

ruído, a manutenção da circulação de informação entre os vários *stakeholders* (operadores, câmaras, público) e a elaboração de inquéritos às populações afetadas sobre o grau de incomodidade sentida.

O resultado da análise de eficácia, em termos de redução das populações expostas, das medidas preconizadas mostra que no caso da situação futura, o número de pessoas residentes quer na classe de maior conflito (> 5 dB), quer na classe intermédia de conflito (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 100%, ou seja, deixa de haver residentes expostos aos níveis sonoros mais elevados.

Os benefícios em termos da redução do número de residentes, expostas a níveis excessivos de ruído, demonstram que as ações de intervenção preconizadas para a Linha de Cascais revelam-se 100% eficazes. Considera-se uma excelente eficácia para um plano de curto prazo (cinco anos).

A otimização do conjunto das propostas e seus resultados passa por uma hierarquização das intervenções, cuja adoção tem de ser balizada não só pelos benefícios esperados e pelos aspetos práticos e económicos da sua execução mas igualmente por eventuais aspetos funcionais que envolvam sequências de operação bem como pelos resultados de novas avaliações, tendo em conta o curto prazo (cinco anos) de um plano que envolve ações cuja execução pode revelar-se complexa para tal período.

O período de cinco anos do plano será dividido em duas fases. A primeira, correspondente aos primeiros três anos, compreenderá (i) preparação e planeamento das intervenções para renovação integral da via, (ii) preparação e planeamento do plano de substituição, a cargo da CP, do material circulante UTE/UQE 3150/3250, (iii) ações de verificação, monitorização e manutenção das medidas de controlo de ruído já implementadas e (iv) ações de sensibilização e informação sobre o ruído para a comunidade em geral.

Numa segunda fase, nos dois anos seguintes, serão executadas as intervenções para renovação integral da via e o programa de substituição do material circulante. Nesta fase, será, ainda, executada a esmerilagem dos carris e será dada continuidade às ações de sensibilização e informação.

A execução do presente PA resultará numa substancial diminuição da extensão das linhas isofónicas correspondentes ao ruído de circulação ferroviária, e, como tal, da população exposta ao ruído ferroviário. As zonas de vizinhança da Linha de Cascais exibem numa considerável parte da sua extensão uma concorrência com outras fontes sonoras contribuintes para o ruído ambiente, especificamente devido à circulação rodoviária. O objetivo do PA constitui-se na diminuição da

contribuição ferroviária para o ruído global. A estimação do número de pessoas expostas a tal contribuição a efetuar no âmbito da elaboração dos MER do próximo ciclo permitirá avaliar os benefícios recolhidos com a execução do PA.

1. Âmbito e Objetivos

O Plano de Ação de Redução do Ruído Ferroviário (doravante denominado Plano de Ação - PA) referente à Linha de Cascais é elaborado pela entidade responsável, nomeadamente as INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, SA, (IP), com o objetivo de dar cumprimento ao enquadramento legal que se impõe a esta entidade, no âmbito dos requisitos do Decreto-Lei n.º 146/2006 (DL146/2006) de 31 de Julho que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a gestão e avaliação de ruído ambiente, mais especificamente a elaboração de estudos no âmbito dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e a elaboração do correspondente PA para as áreas territoriais expostas ao ruído gerado pelo tráfego ferroviário da Linha de Cintura.

O PA da Linha de Cascais é desenvolvido na sequência da elaboração dos Mapas Estratégicos de Ruído (MER) daquela Linha.

A elaboração de um Plano de Ação (PA) de uma Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário (GIF) é um trabalho complexo, envolvendo diversas tarefas especializadas da área de engenharia acústica, tais como estudo, especificação e otimização de medidas de controlo e de redução do ruído, modelação e simulação de cenários alternativos e/ou complementares, bem como análise de benefícios.

Os objetivos do presente Plano são atingidos, então, através de estratégias otimizadas para gestão, minimização e/ou compensação da exposição ao ruído das populações eventualmente afetadas pela exploração da Linha de Cascais.

O Anexo V do Decreto-Lei n.º 146/2006 especifica os requisitos mínimos que deverão enformar estes planos, nomeadamente:

- “Uma (...) identificação de problemas e situações que necessitem de ser corrigidas;
- Eventuais medidas de redução do ruído já em vigor e projetos em curso;
- Estratégia a longo prazo;
- Informações financeiras (se disponíveis): orçamentos, avaliação custo-eficácia, avaliação custo-benefício;
- Medidas previstas para avaliar a implementação e os resultados do plano de ação”.

Neste contexto, o presente PA contempla diversas fases de trabalho objetivadas para:

1. Estudo analítico do MER da Linha de Cascais;
2. Integração de medidas de minoração de ruído entretanto implementadas na infraestrutura;
3. Avaliação das zonas de conflito, face às disposições legais vigentes e tendo em conta a classificação acústica do território, fornecida pelas Câmaras Municipais cujos territórios são percorridos pela GIF;
4. Definição das zonas de incidência do PA;
5. Estabelecimento de benefícios objetivos de intervenção;
6. Definição de soluções, procedimentos e estratégias típicas e aplicáveis;
7. Estimativa orçamental das medidas propostas;
8. Estudo de benefícios e otimização de intervenções por métodos interativos;
9. Plano de intervenção com hierarquização e faseamento das ações, contemplando a visão a longo prazo;
10. Monitorização da implementação do PA.

O presente PA vigora para o período 2020-2025.

2. Enquadramento Legal

Os trabalhos para a elaboração do PA da Linha de Cascais seguiram os critérios constantes da legislação sobre ruído ambiente aplicável, em particular o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 de 16 de Março e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto, o qual remete para o Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho (DL146/2006), que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. O Decreto-Lei n.º 146/2006 foi alterado no seu Anexo II pelo Decreto-Lei n.º 136-A/2019, de 6 de setembro, o qual transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) 2015/996, da Comissão, de 19 de maio de 2015.

O RGR tem por objeto a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora, tendo em vista a salvaguarda da saúde e do bem-estar das populações. Os seus princípios destinam-se a incidir, essencialmente, sobre as fases de planeamento e de ordenamento do território, mas, também, como critérios de correção e redução de ruído.

Em termos de ruído ambiente, o RGR define no seu Artigo 3.º três períodos de referência: o diurno, entre as 7h00 e as 20h00, o entardecer, entre as 20h00 e as 23h00, e o noturno, entre as 23h00 e as 7h00. Como os níveis sonoros são normalmente expressos pelo índice L_{Aeq} , nível sonoro contínuo equivalente, correspondente à sensação com que efetivamente o ser humano percebe o fenómeno sonoro, os indicadores de ruído ambiente para aqueles períodos são designados, respetivamente, por L_d , L_e e L_n . Em consonância com as disposições europeias, a alínea j) do artigo 3º do RGR define ainda o indicador L_{den} como uma média ponderada de L_d , L_e e L_n com penalizações para os períodos de entardecer e noturno:

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

As infraestruturas de transporte são genericamente contempladas no seu Artigo 19.º, “Infra-estruturas de transporte”, o qual estabelece, no seu ponto 1, que “As infra-estruturas de transporte, novas ou em exploração à data da entrada em vigor do presente Regulamento, estão sujeitas aos valores limite

fixados no artigo 11.º. Este artigo, “Valores limite de exposição”, define no seu n.º 1 o critério para os valores limites de exposição:

- a) *As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;*
- b) *As zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;*
- c) *As zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do presente Regulamento, uma grande infraestrutura de transporte não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n .*

O ponto 3 deste artigo, estabelece que “até à classificação das zonas sensíveis e mistas ..., para efeitos de verificação do valor limite de exposição, aplicam-se aos recetores sensíveis os valores limite de L_{den} igual ou inferior a 63 dB(A) e L_n igual ou inferior a 53 dB(A)”.

A delimitação das áreas do território com a atribuição da classificação de zonas sensíveis e mistas é endossada à competência das respetivas câmaras municipais, no caso as Câmaras Municipais de Lisboa, Oeiras e Cascais, devendo tais zonas ser inscritas, delimitadas e disciplinadas no respetivo Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT).

No Artigo 3.º, é definido:

“zona sensível” como “área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros

estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno”;

*“**zona mista**” como “a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível”.*

O ponto 9 do Artigo 19.º estabelece que “As grandes infra-estruturas de transporte ... ferroviário ... elaboram Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e Planos de Acção (PA), nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho”. No Artigo 3.º, é definida “Grande infra-estrutura de transporte ferroviário” o troço ou conjunto de troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional identificada como tal pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes, onde se verifique mais de 30 000 passagens de comboios por ano. Ora, tal é o caso da Linha de Cascais o que remete para as disposições do Decreto-Lei n.º 146/2006.

O Decreto-Lei n.º 146/2006, publicado em 31 de Julho de 2006, transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, alterado no seu Anexo II pelo Decreto-Lei n.º 136-A/2019, de 6 de Setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) n.º 2015/996, da Comissão de 19 de Maio de 2015:

O Decreto-Lei n.º 146/2006 determina no seu artigo 1.º:

- a) *“a elaboração de mapas estratégicos de ruído que permitam quantificar a exposição ao ruído ambiente exterior, com base em métodos de avaliação harmonizados ao nível da União Europeia”.*
- b) *“a prestação de informação ao público sobre o ruído exterior e seus efeitos”.*
- c) *“a aprovação de planos de ação baseados nos mapas estratégicos de ruído a fim de prevenir e reduzir o*

ruído ambiente sempre que necessário e em especial quando os níveis de exposição sejam suscetíveis de provocar efeitos prejudiciais para a saúde humana e de preservar a qualidade do ambiente acústico”.

O âmbito de aplicação do DL146/2006 é definido no seu artigo 2.º como sendo “*aplicável ao ruído ambiente a que os seres humanos se encontram expostos em zonas que incluam usos habitacionais, escolares, hospitalares ou similares, espaços de lazer, em zonas tranquilas de uma aglomeração, em zonas tranquilas em campo aberto e noutras zonas cujo uso seja sensível ao ruído e que seja produzido nas aglomerações ou por grandes infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreo*”.

Este Decreto-Lei determina então que, na sequência da elaboração dos MER, têm as entidades gestoras ou concessionárias das infraestruturas de transporte visadas de desenvolver Planos de Ação destinados a gerir os problemas e efeitos do ruído e a reduzir os níveis de ruído nas áreas respetivas onde tal seja necessário.

O DL 146/2006 mais estabelece no seu artigo 11.º que “os planos de acção são reavaliados e alterados de cinco em cinco anos a contar da data da sua elaboração” (ponto 1), ou “sempre que se verifique uma alteração significativa relativamente a fontes sonoras ... com efeitos no ruído ambiente” (ponto 2).

Este quadro legal, tanto na sua componente nacional como na europeia, estabelece estratégias claras e definidas no sentido da proteção e da melhoria da qualidade do ambiente sonoro exterior.

Estas estratégias passam pelo mapeamento de ruído e pela elaboração dos planos de ação e de redução de ruído como instrumentos importantes para, tendencialmente, reduzir o ruído nos aglomerados populacionais e junto às grandes infraestruturas de transportes e desta forma, reduzir a incomodidade das populações e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

O atual enquadramento legal em vigor, nacional e europeu, considera a cartografia de ruído como forma privilegiada de diagnóstico para a avaliação da incomodidade das populações ao ruído e como um instrumento fundamental para a definição e elaboração dos planos de ação e de redução de ruído.

É neste enquadramento que foi elaborado o presente Plano de Ação da Linha de Cascais.

3. O ruído ferroviário da Linha de Cascais

O ruído produzido pela circulação das composições ferroviárias constitui um dos desafios ambientais que a IP enfrenta. Esta empresa, resultante da fusão da REFER com as Estradas de Portugal, gere toda a infraestrutura de transporte terrestre (estradas e caminhos de ferro) em Portugal.

No âmbito europeu, o *Livro Branco da Comissão Europeia - Roteiro do espaço único europeu dos transportes* (2011), estipulou objetivos de sustentabilidade que implicam a minoração do impacto ambiental das operações ferroviárias. Esta inclui não só a emissão de gases de estufa e o consumo de energia, mas também o ruído emitido. A minoração destes impactos é crucial para manter a favorável posição ambiental do modo de transporte ferroviário – e como tal promover a sua maior utilização a nível europeu.

A gestão do ruído das GIF sob gestão da IP, quer através da elaboração dos MER, quer através de ações mitigadoras preconizadas nos subsequentes PA é assim um desafio incontornável para esta empresa.

Esta GIF serve, principalmente, zonas urbanas e peri/suburbanas. A elevada concentração de atividades sociais, económicas e de meios de transporte torna estes territórios como espaços de vivência onde a preservação do ambiente se revela particularmente delicada. Esta situação tem-se agravado nos últimos dois séculos, sobretudo na era pós-revolução industrial.

O ruído de origem mecânica torna-se omnipresente, como resultado quer dos meios de transporte quer de equipamentos coletivos ou pessoais que fazem parte das atividades profissionais, de lazer ou, mesmo, da vivência normal. O cidadão tem-se tornado, crescentemente, mais consciente do ruído que o rodeia nas suas atividades e vivências quotidianas. Aqui, o ruído dos transportes, nomeadamente ferroviário, revela-se determinante. As exigências de qualidade de vida requerem das autoridades locais uma vigilância apertada do ruído nos espaços habitados.

No entanto, a ferrovia foi, historicamente, a primeira infraestrutura de transporte mais ou menos massificado a ser implantada no território nacional. De facto, as grandes construções de vias férreas iniciaram-se mundialmente nos meados do Séc. XIX e apesar dos avultados investimentos requeridos, Portugal não foi alheio a esta revolução no transporte terrestre. A partir do final do Séc. XIX, com a entrada ao serviço das várias vias férreas em território nacional (a Linha de Cascais entra em

exploração em 1895), rapidamente estes eixos se tornaram estruturantes do território. Novas áreas se expandiram a partir das zonas das estações (devido à maior mobilidade e acesso), consolidando-se um contínuo urbanístico em redor dos eixos ferroviários.

Isto implica que a via-férrea, como componente modificadora da paisagem sonora, faça parte de uma longa memória das populações. Se bem que se tenha registado alguma hostilidade no início (especialmente por questões de intrusão visual e paisagística), a assinatura sonora da via-férrea está definitivamente ancorada na memória das populações quer as que habitam na proximidade quer do público em geral.

Tal facto é corroborado pelos vários estudos sobre a relação dose-resposta entre o ruído gerado por meios de transporte e a incomodidade das populações nos quais é realçado o facto do ruído de tráfego ferroviário ser considerado como menos incómodo em relação ao ruído gerado por outros meios de transporte, como se pode observar na figura 1 (Ferreira, A., Bento Coelho, J. L. 2009, a partir de Miedema 2001).

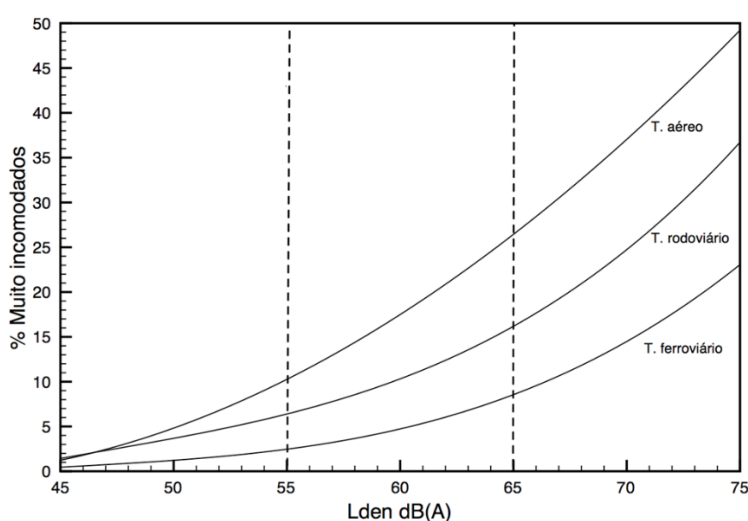


Figura 1. Percentagem de indivíduos “muito incomodados” para ruído de tráfego aéreo, rodoviário e ferroviário.

Embora estudos recentes apontem para a supressão deste “bónus” (em termos de ruído ferroviário) em determinadas condições específicas (alta intensidade de tráfego/percentagem de comboios de mercadorias), um estudo recente com base em inquéritos realizado pela SNCF (2018), atribui ao tráfego ferroviário 8% da incomodidade total devida ao ruído de transportes – em contraste com 67% para as rodovias e 14% para o tráfego aéreo.

A ferrovia é, apesar de tudo, considerada como um modo de transporte seguro, confortável e ecologicamente mais sustentável (menor consumo de energia e menor emissão de gases de estufa). No entanto, os problemas de ruído persistem e têm sido alvo de ações mitigadoras e de controlo e redução de ruído. A adoção destas não deverá colocar em causa a competitividade do transporte ferroviário para não se incorrer no risco de anular os benefícios desta modalidade de transporte.

É todo este contexto que enforma o presente PA de Redução de Ruído para a GIF Linha de Cascais.

Esta Linha é um eixo ferroviário de cariz suburbano e periurbano, que estabelece a ligação entre a cidade de Lisboa e a Vila de Cascais. Tem o seu início no Cais do Sodré (em Lisboa), ao pk 0+000, e o seu término em Cascais, aproximadamente ao pk 25+400 do respetivo eixo. Em grande parte do seu percurso, a Linha de Cascais desenvolve-se ao longo da zona ribeirinha do rio Tejo, numa faixa sensivelmente paralela e próxima ao curso do estuário daquele. Tal pode ser observado na foto esquerda (Zona da Gibalta) da figura 2.



Figura 2. Composições UME 3120 na Linha de Cascais (fonte: WikiCommons).

O número médio de passagens por ano é cerca de 78 000 nos troços com maior quantidade de passagens de comboios por dia, nomeadamente nos troços entre Cais do Sodré e Oeiras. Este valor traduz-se em aproximadamente 280 comboios e 105 000 passageiros por dia útil nos dois sentidos de circulação.

O valor do tráfego médio anual coloca a Linha de Cascais na categoria de Grande Infraestrutura de Transporte Ferroviário segundo a definição do artigo 3.º “Definições” do Decreto-Lei n.º 146/2006.

Nesta via circulam as automotoras elétricas (EMU) das séries 3151 a 3271, a 1,5 kV corrente contínua, sendo a única via da IP a apresentar estas características de tensão elétrica. Esta composições foram

modernizadas/renovadas a partir de 1998. O transporte é exclusivamente de passageiros, sem serviços dedicados ao transporte de mercadorias.

A tabela 1 resume algumas das características principais do material circulante nesta via.

Tabela 1. Características do material circulante na Linha de Cascais.

Material circulante	Veículo	V max (km/h)	Nº bogies	Nº rodados	Tipo de freio
Série 3150 (urbano)	Automotora elétrica (UTE)	90	6	12	100% cepos
Série 3250 (urbano)	Automotora elétrica (UQE)		8	16	

A fonte de ruído ferroviário cuja contribuição normalmente se prefigura como mais relevante é constituída pelo sistema de rolamento. O ruído de rolamento tem origem na interação do sistema roda-carril, devido às rugosidades (corrugação) criadas nas superfícies de contacto entre o rasto da(s) roda(s) e a cabeça do carril, sendo que a energia das vibrações geradas é, em boa parte, transmitida ao meio ambiente circundante sob a forma de re-radiação das ondas sonoras (ruído aéreo).

As características de vibração/oscilação do próprio carril também são determinantes para o nível de ruído total. A importância da contribuição do carril para o ruído total depende também da rigidez/resiliência dos sistemas de fixação do carril/travessa e das características do solo.

Em curvas do traçado com curvatura mais apertada (raio < 200 m), a interação do sistema roda-carril pode gerar ruído com acentuadas características tonais (entre 250 Hz e 5 kHz) designado como “*curve noise squeal*”.

A intensidade do ruído de rolamento depende da velocidade da composição ferroviária, sendo que um aumento para o dobro da velocidade corresponde a um acréscimo de cerca de 8-10 dB(A) do ruído de rolamento. Esta é a fonte de ruído dominante para velocidades entre 40 km/h e cerca de 250 km/h. A baixas velocidades (< 40 km/h) predominam outras fontes (tais como o ruído do sistema de tração

térmica ou de sistemas de arrefecimento nas motorizações elétricas) e a velocidades superiores a 250 km/h predomina o ruído de origem aerodinâmica.

Note-se que nas linhas férreas geridas pela IP, a velocidade máxima permitida é de 220 km/h pelo que o ruído de origem aerodinâmica não se considera preponderante ou mesmo relevante. Na Linha de Cascais, os patamares de velocidade de circulação situam-se entre os 50 km/h e os 80 km/h, embora em certos segmentos estes intervalos possam ser pontualmente ultrapassados, ou por valores superiores ou por valores inferiores.

Os vários componentes do sistema roda-carril apresentam contribuições relativamente distintas para o ruído de rolamento total:

- Até cerca de 120 km/h, o carril é ligeiramente mais preponderante (+ 2 dB) em relação à roda, diminuindo de importância até esta velocidade; aqui a contribuição das emissões sonoras da roda e carril é mais ou menos equivalente;
- para velocidades superiores a 120 km/h a emissão sonora da roda torna-se ligeiramente mais preponderante (+2 dB).
- A energia de vibração das rodas concentra-se nas frequências superiores a 1500 Hz; a energia da emissão sonora do carril distribui-se por uma banda larga de frequências entre 250-1250 Hz enquanto as travessas contribuem com emissões sonoras em frequências inferiores a 400 Hz. A intensidade de vibração das travessas depende principalmente do grau de isolamento oferecido pelas palmilhas, o qual é fator direto da rigidez vertical das mesmas.

A totalidade das emissões sonoras resultantes das várias fontes acima mencionadas constituem o ruído devido à circulação ferroviária na Linha de Cascais. A consideração destes mecanismos é importante no sentido da otimização das intervenções para redução do ruído.

4. Metodologia do Plano de Ação

4.1. Princípios

Os Planos de Ação destinam-se, segundo a legislação aplicável, a definir ações e medidas de minimização de ruído no sentido de melhorar a qualidade do ambiente sonoro e de repor, tanto quanto possível e/ou razoável, os níveis vigentes de ruído ambiente dentro de limites estipulados. Estes limites referem-se, na legislação nacional, a zonas sensíveis e mistas, e consideram os distintos períodos de referência: diurno (entre as 7h00 e as 20h00), entardecer (entre as 20h00 e as 23h00) e noturno (entre as 23h00 e as 7h00).

O PA da Linha de Cascais tem por objetivo estabelecer um programa de atuação com vista à redução, controlo e gestão do ruído de origem ferroviária eliminando, tanto quando possível, conflitos com valores limite e ser conducente a uma melhoria geral do ambiente sonoro na área envolvente da GIF. Assim, o presente PA estabelece uma metodologia de intervenção faseada, com base nas tipologias de medidas de controlo de ruído e na análise de benefícios e de viabilidade técnica, operacional e económica.

Tal envolve (i) a análise de zonas, onde se verificam níveis sonoros excessivos em conflito com os valores limite estipulados na legislação aplicada sobre ruído ambiente, bem como a apreciação e a hierarquização de intervenções, (ii) a consideração de distintas tipologias de medidas de minimização de ruído, o estudo da sua viabilidade e correspondente eficácia e (iii) o faseamento das diversas ações preconizadas. O faseamento é ditado tanto pelos benefícios a colher, como pela viabilidade prática da implementação.

4.2. Metodologia geral

O presente PA resulta da avaliação da situação acústica na envolvente da Linha de Cascais (faixa lateral de 300 m de ambos os lados em relação ao eixo da via) patente nos mapas de ruído elaborados e da confrontação com os valores limite dos níveis sonoros expressos para aquele território (classificação acústica dos municípios em zonas sensíveis e mistas) bem como dos critérios de qualidade atualmente aceites a nível internacional e das boas práticas seguidas.

O MER da Linha de Cascais para os indicadores de ruído ambiente L_{den} e L_n , mostra as áreas geográficas expostas ao ruído ambiente, caracterizado em intervalos de níveis sonoros (normalizados de 5 em 5 dB(A)), delimitadas pelas diferentes curvas isofónicas.

Foram elaborados os mapas de conflitos para toda a envolvente da Linha, considerando as emissões sonoras incidentes e os valores limite correspondentes a cada zona patente na carta de classificação acústica do território e/ou disposições legais aplicáveis.

O grau de conflito foi codificado segundo os intervalos de 0 a 3 dB, de 3 a 5 dB e acima de 5 dB. De entre os dois indicadores de ruído legais vigentes, foi escolhido, para esta Linha específica, o indicador L_{den} para se proceder à análise dos conflitos, por ser aquele que verifica os maiores graus de conflito. De facto, o maior número de movimentos de comboios ocorre durante os períodos de dia e entardecer, pelo que aquele indicador contabiliza as situações mais desfavoráveis.

As zonas que apresentam valores de conflito até 3 dB, foram consideradas como de vigilância, tendo em conta as incertezas associadas a todo o processo de avaliação, quer experimental quer de cálculo, que pode assumir valores desta ordem de grandeza. Tais valores poderão, contudo, indiciar desvios marginais que devem ser vigiados para não aumentarem. Não justificam, no entanto, na presente fase, qualquer ação.

Para valores de desvio (conflito com valor limite legal) superiores, foram estudadas e desenvolvidas estratégias e medidas de controlo e redução de ruído.

Foram contabilizadas, para as zonas de intervenção, o número de residentes e de edificado com uso sensível ao ruído, expostos a níveis de ruído com valores de desvio superiores ao valor limite legal. Para o cálculo das populações expostas foi efetuado o cruzamento dos dados de população por subsecção estatística do Censos 2011 considerando a população distribuída proporcionalmente pelo volume do edifício, para a fachada mais exposta ao ruído, de acordo com o exposto no ponto 4 “Cálculo da população exposta a partir dos mapas estratégicos de ruído” do documento “Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído, Versão 3” de Dezembro 2011 da Agência Portuguesa do Ambiente. De notar, que ao atribuir toda a população residente num determinado edifício à fachada mais exposta, esta metodologia pode sobrestimar a quantidade de população de facto exposta ao ruído.

As medidas de redução de ruído foram selecionadas utilizando os critérios de eficácia técnica e de razoável custo associado, seguindo as boas práticas de Engenharia Acústica, no sentido de reduzir a

extensão das curvas isofónicas e, como tal, a exposição das populações ao ruído. As medidas foram desenhadas no sentido de não interferir com o funcionamento e operacionalidade da infraestrutura ferroviária.

As estratégias e medidas encontradas encontram-se hierarquizadas e a sua adoção é faseada no plano geral de intervenções, numa opção metodológica de desenvolvimento harmonioso, tendo em conta a diversidade de *stakeholders* envolvidos (Gestor da Infraestrutura, Operadores/Concessionários, Municípios, Tutela).

5. Envolvente acústica da Linha de Cascais

5.1. Análise acústica

Desde o seu início, ao pk 0+000, no Cais do Sodré, até ao Túnel da Gibalta, cerca do pk 11+200 da linha, tanto do lado da 'via ascendente' (no sentido da quilometragem) como do lado da 'via descendente' (no sentido da quilometragem) a Linha de Cascais é ladeada por vias de tráfego rodoviário de grande circulação – a Av. 24 de Julho pelo lado Norte e a Av. de Brasília pelo lado Sul da via-férrea - ou pelo estuário do rio Tejo. A envolvente deste troço da linha apresenta, do lado descendente, um cariz principalmente urbano.

Da análise do MER para o troço Cais do Sodré - Gibalta, podem-se observar valores do indicador L_{den} superiores a 65 dB(A) num corredor envolvente da linha-férrea com uma largura que varia aproximadamente entre os 60 m e os 140 m. Relativamente ao indicador L_n , podem-se observar níveis superiores a 55 dB(A) num corredor com uma largura aproximadamente entre os 40 m e os 140 m.

Refira-se que a maioria dos edifícios existentes na envolvente da linha-férrea deste troço são de escritórios ou de serviços, existindo apenas um reduzido número de edifícios de habitação expostos a níveis de ruído elevados. Estes edifícios de habitação situam-se principalmente junto a Algés, particularmente na Reta do Dafundo, entre a Estação de Algés e a ponte sobre o rio Jamor.

Desde o Túnel da Gibalta até Cascais, o corredor ferroviário da Linha passa então a atravessar a área peri-urbana/suburbana da cidade de Lisboa ladeado, com alternância irregular, por vias rodoviárias, pelo mar, por terrenos sem ocupação específica e por múltiplas construções de natureza e características diversas. Grande parte das construções correspondem a moradias (vivendas de dois pisos) ou prédios de habitação, situando-se a afastamentos diversos da linha-férrea.

Neste troço e segundo análise do MER, observam-se valores de L_{den} superiores a 65 dB(A) num corredor envolvente da linha-férrea de largura variável entre os 40 m e os 120 m. Podem-se observar valores do indicador L_n superiores a 55 dB(A) num corredor de largura entre os 40 m e os 130 m.

Em muitos casos, os níveis sonoros elevados devem-se à existência na via de troços em carris de barra curta com juntas e aparelhos de mudança de via (AMV), como sejam os troços localizados nas zonas de Algés, Paço de Arcos e Santo Amaro de Oeiras.

Salienta-se ainda que em praticamente toda a extensão da Linha de Cascais existem sempre vias de tráfego rodoviário com traçados paralelos à linha-férrea na sua proximidade. Na maior parte dos casos,

trata-se de vias rodoviárias com grandes fluxos de tráfego, nomeadamente a Av. 24 de Julho, Av. da Índia, Av. de Brasília, e a Av. Marginal (Estrada Nacional n.º 6). Estes importantes fluxos de tráfego rodoviário geram níveis sonoros bastante elevados nas suas proximidades. Deste modo, verifica-se uma importante concorrência em termos de contribuições para o ruído ambiente global registado na envolvente da Linha de Cascais.

Foram identificados diversos núcleos com usos habitacionais, vários estabelecimentos de ensino e um centro de saúde (Centro de Saúde de São João do Estoril, ao pk 22+020/pk 22+090, sentido descendente) na envolvente próxima (até 100 m) da Linha.

5.2. Medidas já implementadas e em curso

Observações e visitas técnicas bem como as informações recolhidas para esta linha permitiram identificar um conjunto de medidas de redução e controlo de ruído já implementadas na via e não contempladas nos MER, tais como:

- i) barreiras acústicas (painéis metálicos/transparentes) e
- ii) beneficiação do troço identificado da via, efetuada recentemente pela IP. A beneficiação da via incluiu a substituição dos carris, balastro e travessas, estando esta medida agendada para outros troços, de acordo com o previsto plano de modernização da Linha de Cascais.

A tabela 2 resume estas medidas.

Tabela 2. Medidas já implementadas na Linha de Cascais.

designação	início [pk]	fim [pk]	extensão [m]	altura [m]	Tipo de barreira	sentido
Barreira acústica	13+400	13+442	42	1,5	refletora	descendente (Paço de Arcos)
Barreira acústica	14+540	14+603	63	2	refletora	ascendente (Paço de Arcos)
Barreira acústica	15+560	15+610	50	3	refletora	Descendente (Santo Amaro)
Barreira acústica	20+633	20+697	64	3	absorvente	Descendente (São Pedro)
Barreira acústica	21+689	21+714	25	3	mista	Descendente (São João)
Beneficiação da via	9+650	11+900	2250	-	-	Ambos (troço Cruz Quebrada – Caxias)

5.3. Mapas de conflito

Foi solicitada a todas as Câmaras Municipais, cujas áreas territoriais sejam de algum modo percorridas pela GIF, informação relativa ao zonamento acústico do Município sob a sua responsabilidade, o que corresponde à classificação do território pela(s) autarquia(s) em função da sua sensibilidade ao ruído – zonas sensíveis ou zonas mistas ou, objetivamente, sem classificação acústica, na determinação regulamentar.

A tabela 3 resume a informação utilizada, de acordo com os dados disponibilizados pelas várias Câmaras Municipais.

Tabela 3. Classificação acústica da zona envolvente.

Câmara Municipal	Classificação acústica envolvente da Linha	L_{den} dB(A) valor limite	L_n dB(A) valor limite
LISBOA	Zona Mista	65	55
CASCAIS	Zona Mista / Zona Sensível	65 / 55	55 / 45
OEIRAS	Zona Mista	65	55

Esta informação foi cruzada com a área geográfica da envolvente da Linha de Cascais, de modo a obter-se a informação relevante para o cálculo do respetivo mapa de conflitos. Foi, no entanto, tido em conta que, tratando-se de uma grande infraestrutura de transportes, qualquer que seja a classificação atribuída pelo município, os limites estabelecidos no RGR apontam para valores limite de 65 dB(A) para o indicador de ruído ambiente L_{den} e 55 dB(A) para o indicador L_n como valores limite para as áreas vizinhas (entendida como uma vizinhança de 100 m) desta linha ferroviária.

De referir que, embora o Município de Cascais possua zonamento diferenciado entre zonas mista e zonas sensíveis, na proximidade da Linha de Cascais e nas áreas onde os níveis sonoros podem ultrapassar os valores regulamentares apenas se verificou a existência de zonas mistas, pelo que foram aplicados os limites de 65 para L_{den} e 55 para L_n .

A partir do MER da Linha de Cascais procedeu-se à elaboração dos mapas de conflitos associados à classificação acústica territorial com base nas zonas sensíveis e mistas. Os mapas de conflitos

permitem uma análise e quantificação cuidada dos desvios em relação aos limites legais e a elaboração de estratégias e intervenções com vista à sua minimização.

Os mapas de conflitos, para ambos os indicadores L_{den} e L_n , são apresentados nas figuras 3 a 8. O código de cores utilizado em todas as figuras reflete a divisão entre os vários graus de conflito: 0 a 3 dB, 3 a 5 dB e superiores a 5 dB, providenciando uma visão global da hierarquização das intervenções.

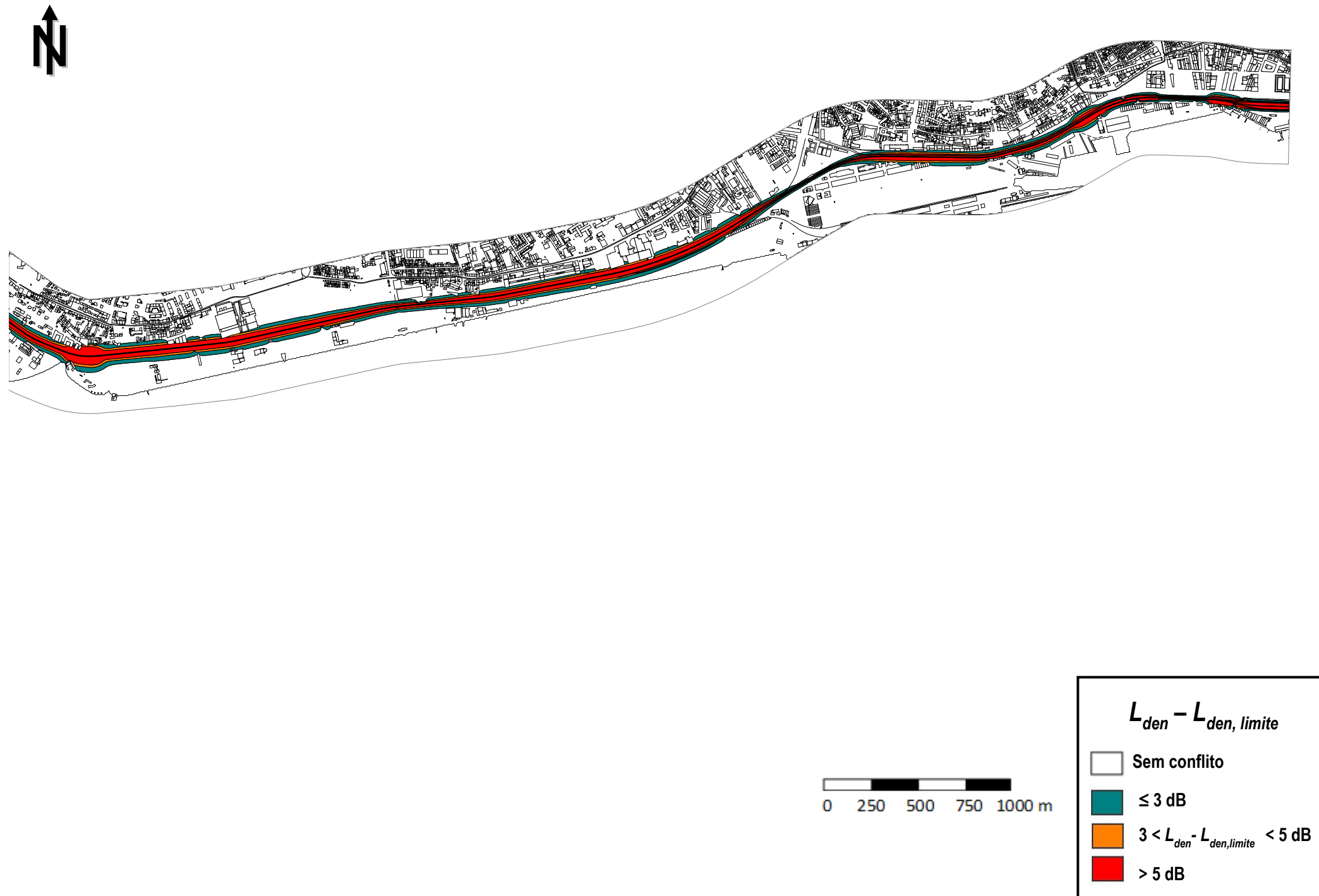


Figura 3. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Cascais (Cais do Sodré – Belém) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

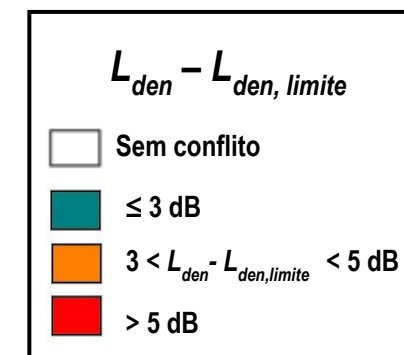
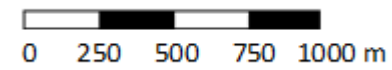
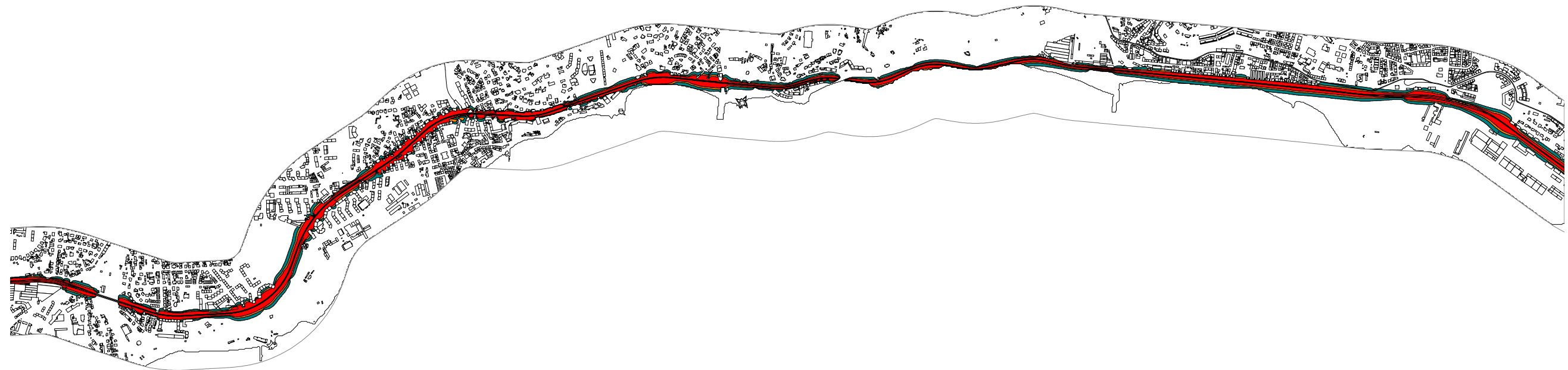


Figura 4. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Cascais (Belém/Algés-Oeiras) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

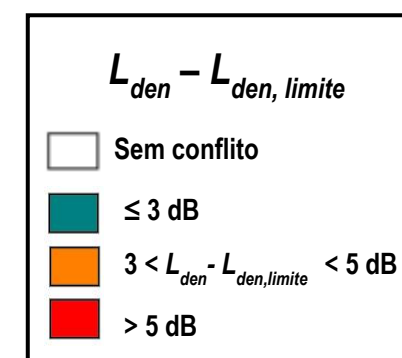
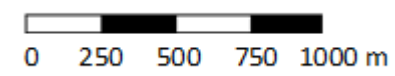


Figura 5. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Cascais (Oeiras-Cascais) e na classificação acústica territorial - Indicador L_{den}

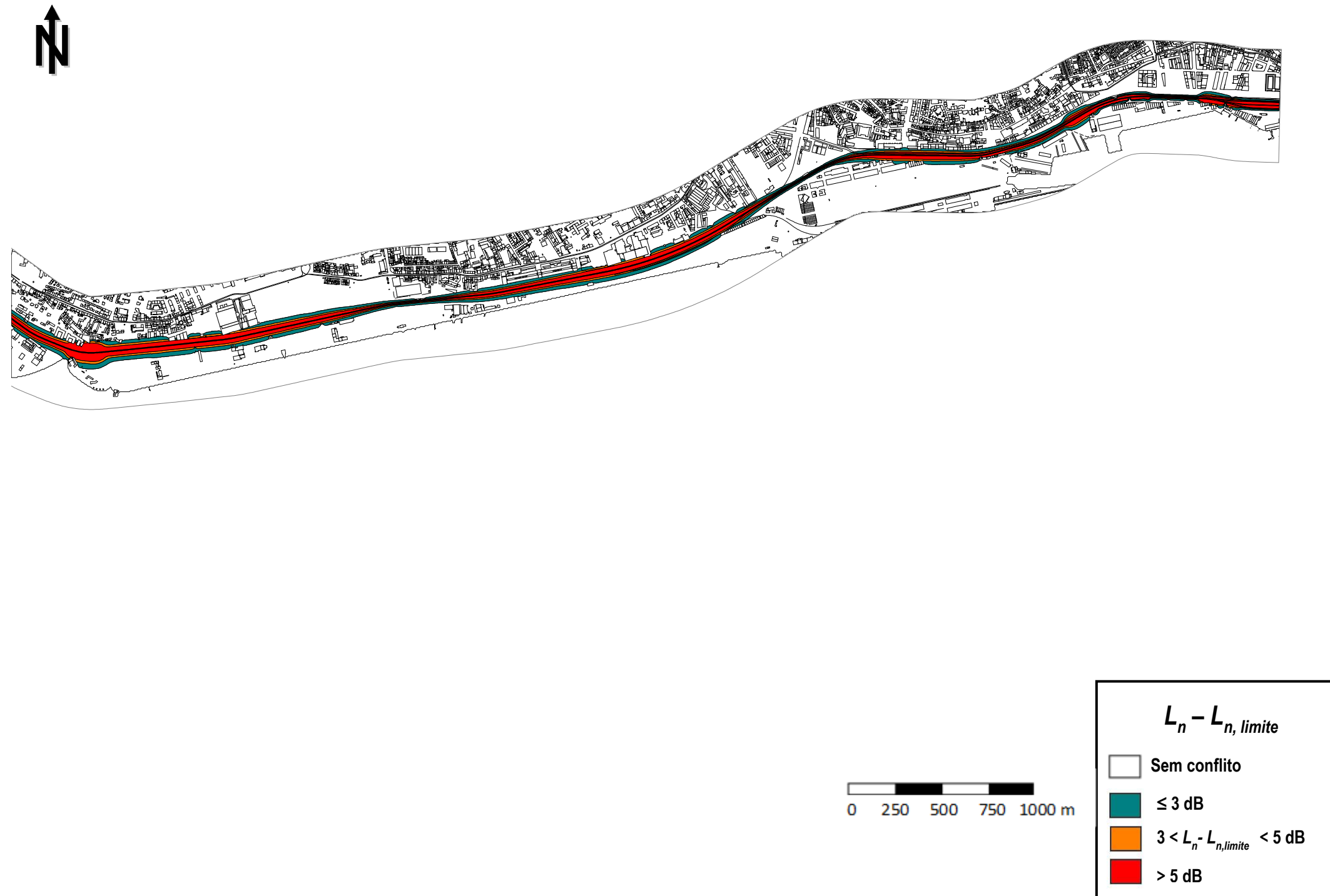


Figura 6. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Cascais (Cais do Sodré-Belém) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

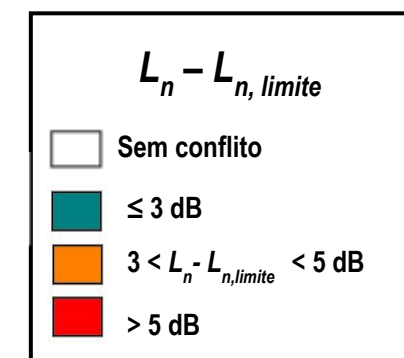
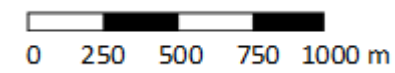
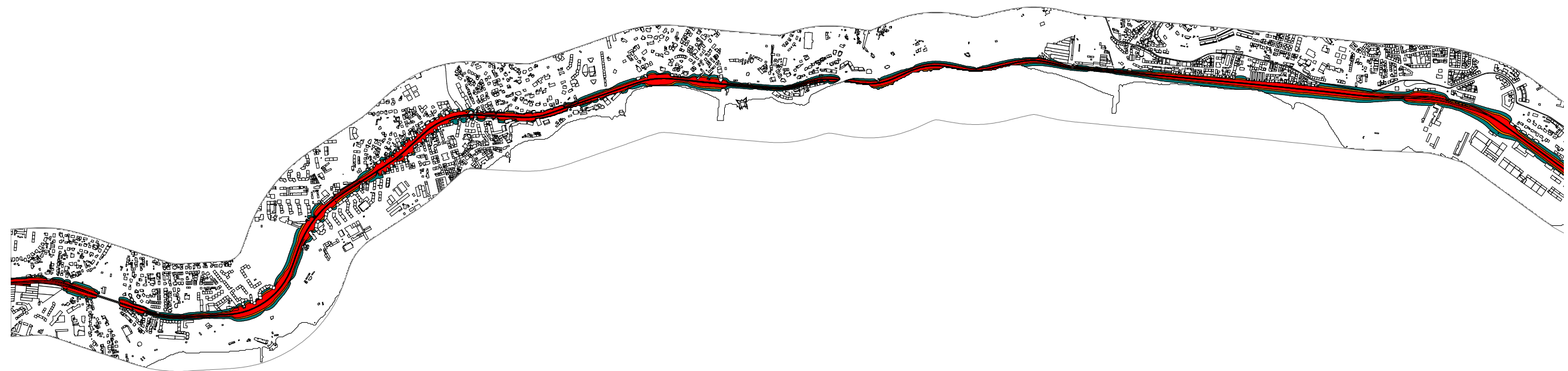


Figura 7. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Cascais (Belém/Algés-Oeiras) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n



0 250 500 750 1000 m

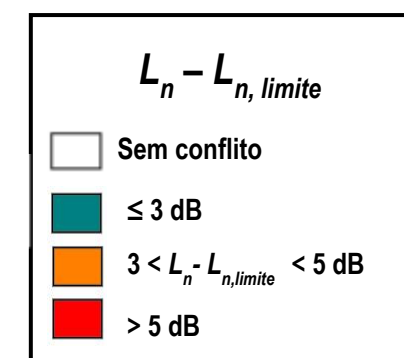


Figura 8. Mapa de Conflitos baseado nos MER da Linha de Cascais (Oeiras-Cascais) e na classificação acústica territorial - Indicador L_n

6. Zonas de intervenção

Numa análise global dos mapas de conflito, podemos verificar que as zonas em que se observam conflitos com os limites regulamentares abrangem várias áreas com densidade urbanística na envolvente muito próxima da linha (< 50 m), nomeadamente na área de Algés, entre Paço de Arcos e Oeiras e entre Carcavelos e o Estoril. Estas áreas contêm edifícios de habitação com diversas tipologias (moradias unifamiliares e prédios de apartamentos com um número de andares variável), edifícios escolares e edifícios de serviços de saúde.

Uma análise mais detalhada das áreas em conflito permite identificar onze zonas na envolvente da Linha de Cascais e sobre as quais incide o presente PA.

As diferentes zonas podem ser observadas esquematicamente nas figuras 9 a 11. Não foi identificado, no troço entre o pk 0+000 (estação do Cais do Sodré) e aproximadamente o pk 6+800 (estação de Belém), edificado com uso sensível e apresentando valores de desvio (conflito com o valor limite legal) superiores a 3 dB.



Figura 9. Troço Cais do Sodré – Belém. Não foram identificados edifícios expostos com uso sensível ao ruído.

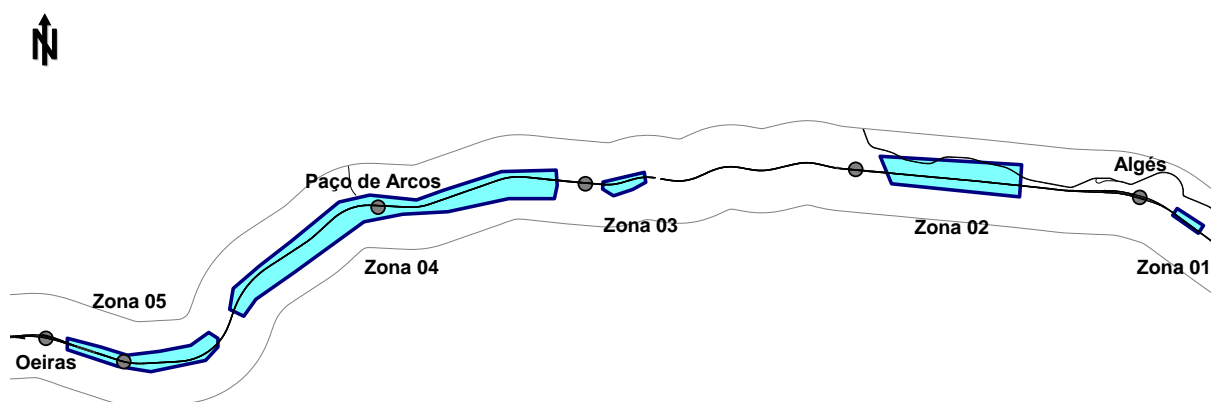


Figura 10. Troço Belem – Oeiras. Zonas de intervenção que englobam edifícios expostos com uso sensível ao ruído.



Figura 11. Troço Oeiras – Cascais. Zonas de intervenção que englobam edifícios expostos com uso sensível ao ruído.

As zonas consideradas para intervenção encontram-se descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Zonas de intervenção na Linha de Cascais.

Zona	Município	Início (pk)	Fim (pk)	Localização recetores
1	Lisboa	7+270	7+490	sentido descendente
2	Oeiras	8+680	9+600	sentido descendente
3	Oeiras	11+335	11+650	predominantemente ascendente
4	Oeiras	11+970	14+610	ambos os sentidos
5	Oeiras	14+870	15+770	ambos os sentidos
6	Oeiras/Cascais	16+750	17+020	predominantemente descendente
7	Cascais	18+125	19+310	ambos os sentidos
8	Cascais	19+780	20+200	ambos os sentidos
9	Cascais	20+420	22+360	ambos os sentidos
10	Cascais	22+740	23+275	predominantemente ascendente
11	Cascais	23+960	24+100	sentido descendente

7. Ações para gestão e redução do ruído ferroviário

Podem ser definidas distintas tipologias de intervenções direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído de origem ferroviária. As ações consideradas para a boa gestão do ambiente sonoro podem ser do tipo (i) comunicação, sensibilização e participação pública, (ii) vigilância e monitorização, (iii) gestão de fontes emissoras de ruído e (iv) controlo e redução dos níveis sonoros de emissão ferroviária.

O plano de intervenções deve considerar uma combinação racional e integrada das diferentes tipologias de ações, numa perspetiva de abordagem equilibrada, conforme as boas práticas de engenharia acústica. De facto, a otimização, em termos técnicos e financeiros, passa pela adoção combinada de distintas estratégias e medidas permitindo benefícios acrescidos sem criar ruturas ou perceção de dificuldades por parte quer das populações (tanto utilizadores da GIF como dos espaços da envolvente da linha) quer dos operadores de transporte, sem incorrer em custos inoportáveis, sendo a análise operacional, técnica e económica parte fundamental da tomada de decisão das estratégias a adotar.

O ruído percebido num determinado recetor sensível pode ser minorado recorrendo a ações que atuem na fonte do ruído, no caminho da transmissão sonora (caso das barreiras acústicas) ou atuando no isolamento do edificado. No entanto, a redução de ruído na fonte é, em geral, mais eficaz por atuar diretamente na redução das emissões sendo que em termos económicos se revela também frequentemente mais favorável.

Por outro lado, a redução de ruído na fonte é uma ação complexa que implica um bom conhecimento dos mecanismos de geração sonora. Numa primeira aproximação é necessário identificar a fonte ou mecanismo dominante de geração de ruído, tendo em conta que o ruído total de uma composição ferroviária em movimento será, naturalmente, o somatório das contribuições das diversas fontes de ruído em presença.

De modo a minimizar o ruído nas áreas envolventes de circulação ferroviária, podem considerar-se diversas estratégias de intervenção de controlo de ruído, com destaque para intervenções em várias componentes do ruído total, conforme esquematizado na figura 12.

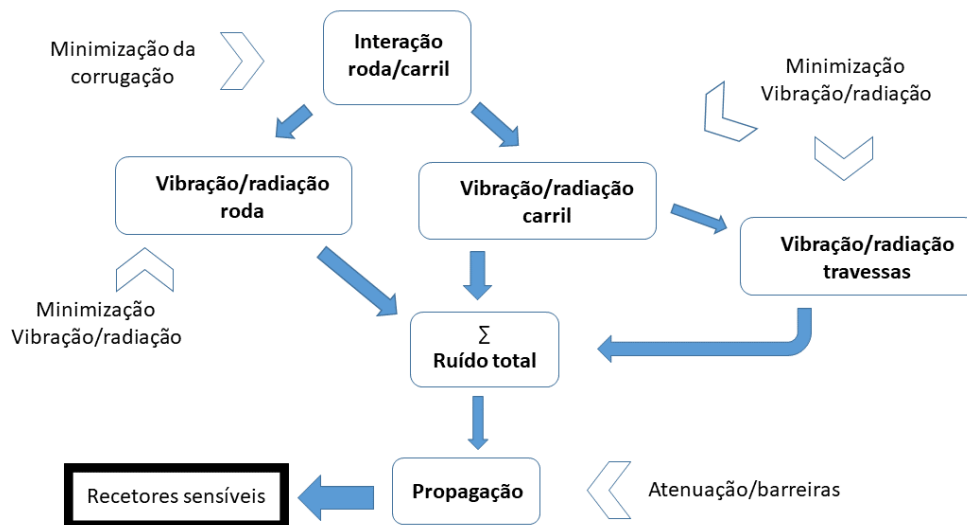


Figura 12. Componentes do ruído ferroviário e respetivas áreas de ação.

As soluções a adotar em cada caso são, naturalmente, função das situações e problemas concretos em presença, bem como dos objetivos a atingir. O sistema de propagação dos estímulos vibráteis do comboio é uma linha de transmissão complexa em que, quer a fonte (composição ferroviária), quer o transmissor (infraestrutura ferroviária, incluindo as travessas da linha), quer a carga (terreno em que se encontra instalada a linha ferroviária) desempenham um papel integrado.

As estratégias para a redução do ruído passam por criar perdas de transmissão no meio, tanto por introdução de uma determinada solução atenuadora no sistema roda-carril (em qualquer das suas componentes), como por introdução de barreiras acústicas, dispositivos de atenuação de ruído interpostos no percurso de transmissão entre o emissor (linha ferroviária) e o recetor.

Finalmente, podem ser equacionadas intervenções no próprio recetor o que, em geral, implica o reforço do isolamento da fachada do edifício em causa. No entanto, esta medida é de delicada implementação tanto mais que embora reduza os níveis sonoros no interior de um edifício específico, em nada contribui, em contraste com as outras estratégias mencionadas, para uma redução global e generalizada do ruído ferroviário. Esta solução é apenas considerada no leque de soluções últimas ou de recurso.

As principais metodologias e soluções de controlo de ruído com interesse e de potencial aplicação no âmbito do PA de uma GIF podem então incluir:

Intervenções na linha

- Renovação/beneficiação integral da ferrovia (RIV) com substituição da superestrutura;
- Soluções para minimização da vibração/radiação do carril
 - palmilhas/mantas resilientes;
 - Minimização da corrugação do carril por meio de esmerilagem acústica;
 - atenuadores sintonizados/*tuned rail dampers* (atenuação da amplitude da vibração ao longo do carril, e logo da radiação sonora, idealmente nas bandas de frequências dominantes).
- Lubrificação de via/modificadores de fricção (*curve squeal noise*);

Intervenções no material circulante

- O material circulante existente pode ser renovado ou substituído por composições renovadas/novas. Estas, em geral, apresentam substanciais reduções de emissão de ruído, devido a melhoramentos a nível das *bogies*, suspensões, freios e rodados.
- Minimização da corrugação das rodas por meio de esmerilagem;
- Modificações no sistema de frenagem (cepos sintéticos K, L e LL ou sistema de discos);
- rodas perfuradas com anéis de absorção;
- sistemas de absorção sintonizados;
- escudos de blindagem acústica nas rodas;
- modificadores de fricção/lubrificação embarcados (*curve squeal noise*).

Intervenções no percurso de transmissão sonora

- Introdução de barreiras acústicas - dispositivos de atenuação sonora interpostos no percurso de transmissão. As barreiras acústicas são apenas eficazes para atenuação do mecanismo de transmissão por via aérea. O valor da atenuação sonora induzida pela interposição de uma determinada barreira acústica é função não só das suas características físicas como também da posição geométrica relativa entre os elementos intervenientes fonte - barreira acústica - recetor.

Manutenção/monitorização de medidas de minoração

- As medidas de minoração do ruído, tanto as já existentes como aquelas a implementar decorrentes das propostas do presente PA, necessitam de um programa de verificação, monitorização e manutenção regular para garantir a conservação das suas características de perda de inserção ao longo da sua vida útil. As eventuais atividades corretivas de manutenção deverão ser calendarizadas e efetuadas, de modo a garantir a eficácia das medidas ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Ações junto ao público

- As medidas consideradas deverão ser contextualizadas numa visão global da gestão da incomodidade e eventuais perturbações sentidas pelas populações devido ao ruído ferroviário. Tal implica um planeamento de um conjunto de ações comunicacionais, de sensibilização e participação pública, que se destinam não só a gerir as emissões de ruído, mas igualmente a perceção do ruído pelas populações equacionada com as vantagens da vizinhança de uma infraestrutura de mobilidade de elevado valor para a vivência quotidiana.

A solução final otimizada revela-se, frequentemente, como resultante da combinação de diferentes alternativas combinadas. Através da acumulação de benefícios parcelares poderão conseguir-se benefícios significativos, a custos porventura razoáveis.

Algumas medidas terão um benefício a curto prazo, na medida em que os seus resultados se farão sentir quase imediatamente após a sua implementação, enquanto que a outras estarão associados benefícios que apenas serão quantificáveis a médio ou, mesmo, a longo prazo.

Como tal, é pertinente considerar um conjunto de ações de comunicação, sensibilização e até participação pública. Estas ações destinam-se não só a comunicar as medidas de minoração/gestão das emissões de ruído, a implementar pela gestora da linha férrea, mas igualmente a contextualizar a perceção do ruído pelas populações. Deste modo, a sensibilização das populações e a comunicação com elas assume um papel fundamental na perceção do ambiente sonoro. Não só as expectativas das populações têm de ser geridas pelos vários *stakeholders* envolvidos (Gestor da Infraestrutura, Operadores/Concessionários, Municípios, Tutela) como os cidadãos têm de entender que o ruído é parte integrante de um ambiente próximo de uma GIF, podendo ser entendido como um indicador da sua atividade e dinâmica económica, se adequadamente gerido.

8. Tipologia das soluções propostas

Para a consecução dos objetivos propostos no âmbito do presente PA, redução tanto quanto possível, tendencialmente eliminação, de conflitos com graus de desvio superiores a 3 dB, foram estudadas diversas soluções tendo sido ensaiadas diversas simulações de intervenções na linha. Privilegiaram-se, sempre que possível, as intervenções que atuem na redução de ruído na fonte (via / material circulante).

Neste PA, não foram consideradas, por questões de exequibilidade prática, operacional ou económica, ou por não se justificarem, outras medidas tais como a limitação de velocidades de circulação, alteração ao uso dos solos ou o reforço de isolamento sonoro de fachada.

É preconizado um conjunto de intervenções diversas, em que ações diretas no material circulante e na via, constituem as medidas de controlo e redução de ruído:

- Modernização/renovação integral da via,
- Substituição do atual material circulante da série UTE/UQE 3150/3250,
- Introdução de programa regular de esmerilagem da via de modo a minimizar o desgaste ondulatório do carril.

Estas medidas são de âmbito global, pois aplicam-se à totalidade da via-férrea.

As medidas de redução das emissões sonoras preconizadas são as que se afiguraram como mais exequíveis do ponto de vista prático, bem como económica e socialmente viáveis, encontrando-se também contempladas nas orientações estratégicas da IP em matéria de política de ambiente.

Para além destas medidas, o plano contempla, ainda

- (i) verificação e monitorização das medidas existentes e a implementar,
- (ii) manutenção de soluções de redução de ruído, conforme apropriado, e
- (iii) comunicação com o público em geral e com os *stakeholders*.

As medidas propostas encontram-se detalhadas de seguida.

Intervenção na linha: Modernização/Renovação Integral da Via

Uma renovação integral da via-férrea implica, entre outras operações, a substituição integral dos carris, ou seja, a transformação de carril de barra curta com juntas por carril em barra longa soldada (BLS), a substituição de travessas de madeira (via clássica) por travessas de betão bi-bloco ou monobloco. Estas ações de renovação ou modernização servem para aumentar o ciclo de vida útil dos ativos da via-férrea.

A imagem da figura 13 ilustra duas situações de carril com barra curta, onde se pode observar a junta, geradora de níveis sonoros elevados na sua percussão pelas rodas da composição ferroviária.



Figura 13. Juntas em carril de barra curta geradora de ruído com carácter impulsivo.

Na imagem da esquerda da figura 13, pode observar-se que o carril está rigidamente fixo à travessa de betão bi-bloco enquanto que na imagem da direita o carril está fixo a travessas de madeira. As travessas numa linha ferroviária transmitem a carga dinâmica/estática para o balastro/solo. As travessas de madeira, embora sempre utilizadas em zonas com aparelhos de mudança de via (AMV), têm vindo a ser substituídas por travessa de betão bi-bloco ou monobloco (ver figura 14), mais duráveis, incombustíveis e que permitem maiores cargas.

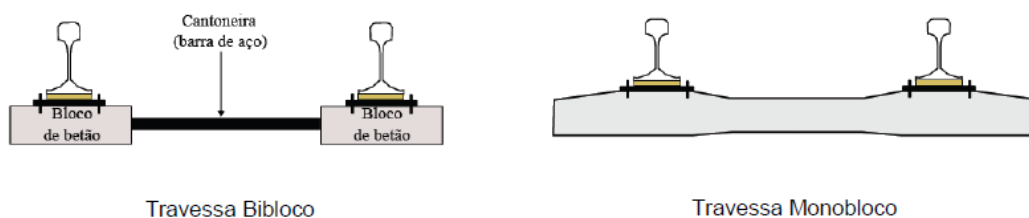


Figura 14. Tipos de travessas em betão

Note-se que a Linha de Cascais tem sido alvo de um programa de beneficiação integral da superestrutura da via com vista a garantir a integração dos equipamentos instalados no futuro projeto

de modernização desta via. Estas ações visam a futura integração da Linha de Cascais na restante rede ferroviária nacional via ligação Alcântara-Linha de Cintura. No âmbito deste programa já foram realizadas várias intervenções, nomeadamente a intervenção no troço Cruz Quebrada – Caxias, a qual resultou numa notável melhoria no nível de conforto dos passageiros, com notória redução do nível do ruído e vibrações percebidas (mesmo com o atual material circulante).

De acordo com o conhecimento atual, integrado no modelo interino de cálculo de ruído ferroviário RMR96/SRMII, podem atribuir-se benefícios combinados (ou seja, reduções), nas emissões de ruído aéreo, da ordem de 5 dB(A), na utilização de carril de barra longa soldada (BLS) em comparação com carril de barra curta com juntas (devido à eliminação do ruído de impacto) e na substituição de travessas de madeira por travessas de betão monobloco.

Intervenção no material circulante: substituição

O grande potencial na redução dos níveis de ruído ferroviário reside na sua redução ao nível da fonte, pelo que uma intervenção em grande escala no material circulante é um dos componentes óbvios desta estratégia. Tal implica uma renovação profunda do material circulante (interior e exterior) ou mesmo uma substituição do material circulante atual por novas composições.

O material circulante novo/renovado, em geral, apresenta substanciais reduções de emissão de ruído, devido a melhoramentos ao nível das *bogies*, suspensões, freios e rodados, com uma consequente melhoria do conforto dos passageiros.

No caso do atual material circulante na Linha de Cascais, este encontra-se, segundo informações do operador CP, no fim do ciclo de vida útil, tendo em conta que as últimas ações de modernização/renovação foram efetuadas a partir de 1998. Assim, o operador CP irá adquirir novas automotoras elétricas para a Linha de Cascais para substituição das atuais UTE/UQE 3150/3250. Tal também poderá implicar a substituição da catenária atual de 1,5 kV DC (caso único na rede ferroviária nacional), pela catenária de 25 kV, comum a toda a restante rede.

Os benefícios da substituição do material circulante UTE/UQE 3150/3250 na Linha de Cascais são potencialmente elevados, no que respeita à redução do nível de ruído ferroviário gerado pela operação da linha.

Uma análise dos resultados de extensas campanhas de medição e caracterização do material circulante nas vias férreas geridas pela IP, efetuadas de modo a adaptar o método de cálculo de ruído ferroviário RMR96/SRMII ao material circulante português (Alarcão D., Bento Coelho J. L., 2008 e 2009) permite comparar os níveis sonoros gerados pela circulação de composições ferroviárias como se mostra no gráfico da figura 15, no qual foi apenas considerado material circulante que efetua serviço de passageiros. Para efeitos comparativos, a velocidade das composições foi normalizada a 90 km/h (velocidade máxima das UTE/UQE 3150/3250), a distância à via considerada foi de 7,5 metros, em troços com carris de barra longa soldada. O material circulante UME 3400, em serviço desde 2002 na Área Metropolitana do Porto, foi considerado como “referência” em termos de emissões de ruído aéreo na medida em que exhibe valores mais baixos, sendo o restante material circulante, atualmente ao serviço de passageiros, comparado com aquela referência.

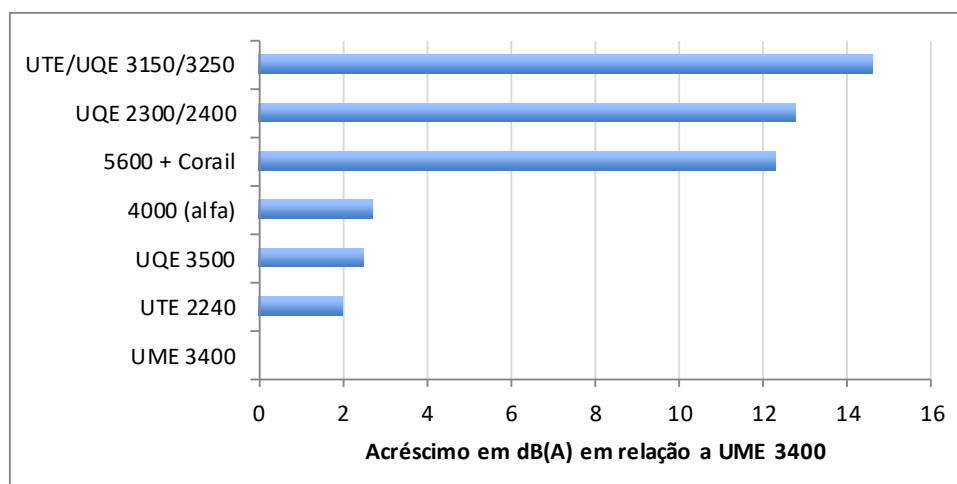


Figura 15. Gráfico ilustrativo dos acréscimos relativos, em termos de emissão de ruído aéreo, do material circulante de passageiros.

O gráfico da figura 15 ilustra a diversidade do material circulante atual, em termos de emissões de ruído aéreo, em dois grupos com magnitudes distintas em relação à “referência” UME 3400. Os acréscimos nos níveis emitidos de ruído correlacionam-se com características específicas do material circulante, nomeadamente o sistema de frenagem (discos vs. cepos).

De facto, no caso dos sistemas de frenagem que atuam na roda (cepos), observa-se o desenvolvimento de corrugação na superfície de contacto das rodas. A corrugação deve-se a vários fenómenos de transferência termoelástica, e tal faz com que os níveis de ruído de rolamento de composições com frenagens de cepos sejam superiores às das composições com frenagem de disco.

Os acréscimos são tipicamente da ordem dos 10 dB(A), o que é confirmado no gráfico da figura anterior. Estes factos encontram-se estabelecidos desde 1980 (Thompson, 2009).

Na figura 16 (Thompson, 2009), pode ser observado o efeito de corrugação sobre a superfície de contacto da roda devido ao sistema de frenagem com cepos (b). O sistema de frenagem de discos mantém a superfície de contacto sem corrugação visível (a).

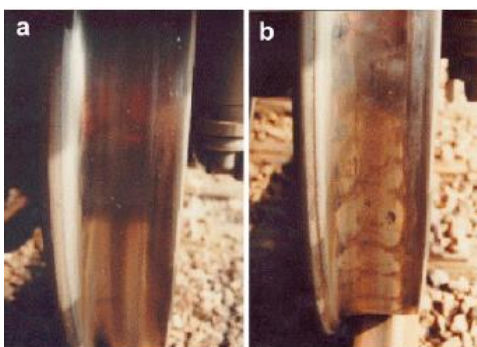


Figura 16. Superfície de rolamento de roda com (a) sistema de frenagem de discos, (b) sistema de frenagem de cepos atuantes na roda.

As UME 3400, UTE 2240 e Série 4000 (Alfa) apresentam um sistema de frenagem exclusivamente de discos, o qual não atuando na mesa de rolamento da roda, previne efeitos de corrugação/degaste ondulatório nesta, com benefícios notórios no que respeita ao nível de ruído de rolamento. As UQE 3500 têm um sistema de frenagem electro-pneumático predominantemente de discos, com cepos de material sintético. As composições da série 3150/3250 ao serviço na Linha de Cascais apresentam um sistema de frenagem 100% de cepos enquanto a série 2300/2400 (ao serviço na Linha de Sintra) apresenta uma mistura de discos e cepos que atuam diretamente na roda, com consequente desgaste e corrugação deste. Utilizadas no serviço Intercidades, as locomotivas da série 5600 também utilizam um sistema de frenagem 100% cepos, sendo que as carruagens CORAIL/Sorefame têm um sistema combinado de discos e cepos nas rodas. Tal reflete-se num maior nível sonoro emitido por estas composições em relação às composições “referência” UME 3400.

Tal pode ser observado, a título ilustrativo, na figura 17, a qual apresenta resultados previsionais dos diferentes níveis de ruído de rolamento emitidos por composições ferroviárias em função do tipo de frenagem, a partir do método previsionial de ruído ferroviário CNOSSOS (2012). Para esta simulação, considerou-se um carril com manutenção regular e corrugação típica, combinados com rodas pertencentes a composições com frenagem por cepos de ferro fundido (CI), cepos compósitos (L ou

LL) e discos. A distância à via considerada foi de 7,5 m e a velocidade das composições normalizada a 80 km/h.

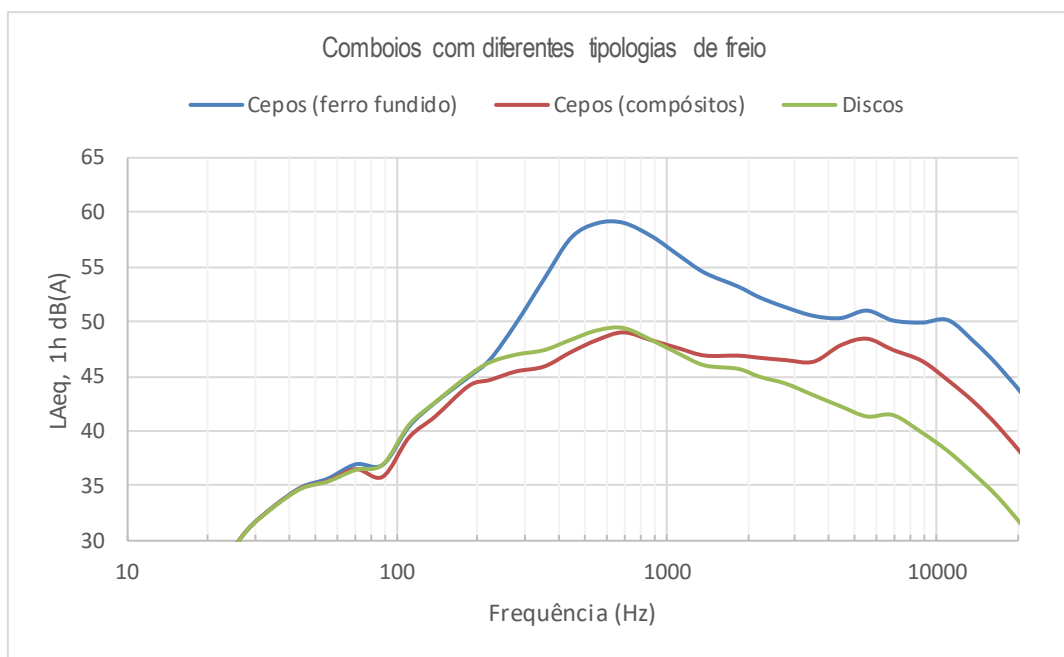


Figura 17. Diferentes níveis sonoros de emissão em função da frequência e para diversas tipologias de freios dos comboios (CNOSSOS, 2012).

Os valores totais obtidos para o ruído de rolamento das composições (a 7,5 m) são de 67 dB(A), para o sistema de frenagem por cepos de ferro fundido, 60 dB(A) para o sistema de frenagem por cepos compósitos e 59 dB(A) para o sistema de frenagem por discos. As reduções, em relação a rodas atuadas por freios de cepo em ferro fundido, são da ordem dos 7 a 8 dB. Note-se, no entanto, que estes valores assumem um carril em bom estado, isto é, com uma magnitude de corrugação/desgaste ondulatório reduzida e uma manutenção regular por meio de esmerilagem. Caso o carril apresente magnitudes de corrugação/desgaste ondulatório mais elevadas, a utilização de sistemas de frenagem por discos ou cepos sintéticos não oferece valores de redução, em termos de ruído aéreo emitido, tão significativos podendo-se assumir ganhos marginais, inferiores a 3 dB (Thompson, 2009).

A substituição do material circulante na Linha de Cascais por material circulante de conceção mais recente oferecerá, assim, reduções significativas, não só no que respeita à redução do nível de ruído ferroviário gerado pela operação da linha, mas também melhorias no conforto e comodidade dos passageiros. Podem admitir-se benefícios (ou seja, reduções) realistas, nas emissões de ruído aéreo,

da ordem de pelo menos 5 a 6 dB(A), através da substituição do atual material circulante, composto pelas séries UTE/UQE 3150/3250, por material circulante de geração mais recente. Estes valores são suportados pelos valores de emissão constantes do modelo de ruído de tráfego holandês SRMII/RMR96, através da substituição de comboios da categoria 2 (UTE/UQE 3150/3250) por comboios da categoria 8 (UME 3400) (Alarcão, D., Bento Coelho, J. L., 2008, 2009).

Intervenção na linha: esmerilagem do carril

Numa renovação ou modernização integral da via-férrea, os carris existentes são substituídos por material novo, o qual é esmerilado preventivamente. Sob a ação das cargas dinâmicas das várias composições ferroviárias, a cabeça do carril desenvolve vários tipos de desgaste, um dos quais, o desgaste ondulatorio ou corrugação, é maioritariamente responsável (juntamente com a corrugação da roda) pelo ruído de rolamento emitido.

Não obstante o atual programa de modernização e beneficiação da Linha de Cascais, os carris apresentam descascamento em algumas zonas (Estações de Alcântara, São João, Carcavelos) bem como desgaste ondulatorio/corrugação bem visível na cabeça do carril, como se pode observar nas fotografias da figura 18.



Figura 18. Descasque e desgaste ondulatorio em carril (Linha de Cascais).

A metalurgia do carril, dinâmica da via, *mix* de velocidades, cargas dinâmicas e forças de tração, todas parecem ter um efeito no aparecimento do fenómeno de corrugação. Não é realista monitorizar todas

estas influências pelo que, a monitorização é efetuada por métodos indiretos (acústicos) e diretos (ao longo da cabeça do carril com equipamento especializado).

A esmerilagem preventiva/corretiva da via-férrea (ver figura 19), a ser efetuada de um modo regular, é considerada como uma boa prática de manutenção, permitindo um bom contacto entre a roda/carril e impedindo o agravamento dos defeitos do carril que inevitavelmente decorrem da utilização normal e regular de uma via-férrea.



Figura 19. Esmerilagem de carris (fonte: www.fergrupo.pt).

A esmerilagem acústica, com menores tolerâncias do que uma esmerilagem corretiva “normal”, é efetuada com um sistema embarcado de discos rotativos e acabamento com esmeril de banda contínua, a baixa velocidade (< 15 km/h).

A corrugação cresce no tempo e torna-se necessário uma planificação de ação regular de esmerilagem, como é sugerido na figura 20.

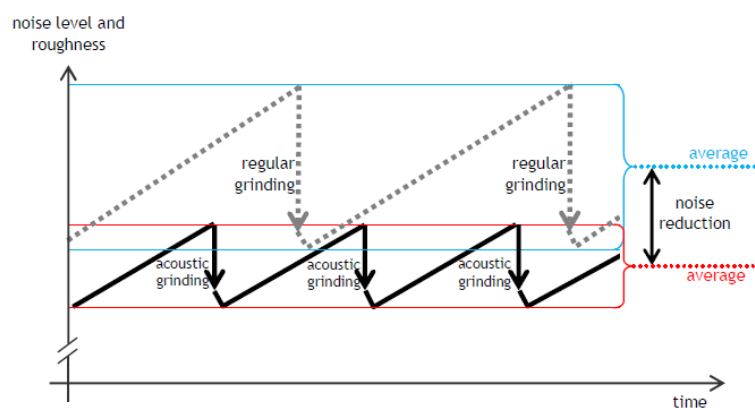


Figura 20. Efeito da esmerilagem de manutenção e da esmerilagem acústica em função do tempo (fonte UIC).

A experiência dos Gestores de Infraestrutura SBB (Suíça) (Scossa-Romano, E., Oertli, J., 2012) e NS (Países Baixos) (Dings, P. C., Dittrich, M. G., 1996), sugere que:

- O efeito máximo de redução do ruído emitido pelo sistema roda/carril proporcionado pela esmerilagem acústica mantém-se durante cerca de quatro semanas. A corrugação aumenta ao longo do tempo com a normal utilização da via.
- Para manter os carris com o mínimo de corrugação/desgaste ondulatório são recomendados intervalos entre 2 a 4 anos para ações de esmerilagem, dependendo do *mix* de material circulante e velocidades praticadas.

Assim, em caso de esmerilagem de carril que apresente um elevado grau de desgaste ondulatório/corrugação, são admitidas reduções da ordem dos 15 a 10 dB(A) com a utilização de composições com frenagem exclusivamente de discos. Para composições com frenagem com cepos sintéticos/compósitos L ou LL, os ganhos são da ordem dos 10 a 5 dB(A). Finalmente, para composições com frenagem efetuada por cepos normais, a ação de esmerilagem não é tão eficaz, podendo-se assumir ganhos da ordem dos 3 dB(A) ou inferiores.

Note-se que as dimensões do desgaste ondulatório/corrugação relevantes para o ruído de rolamento são da ordem dos 5 aos 500 mm. Corrugação de nível inferior, apelidada de micro-corrugação, é importante para a própria aderência do sistema roda-carril (Thompson, 2009). A existência de corrugação de magnitude apreciável na cabeça do carril, negará o efeito, em termos de emissões sonoras, de um sistema de frenagem por discos, o qual ao não atuar na superfície de contacto da roda, mantém-na em bom estado. De facto, a combinação de uma roda apresentando baixa corrugação, na sua superfície de contacto, com um carril com elevada magnitude de corrugação pode majorar em cerca de 7 dB as emissões sonoras do sistema roda/carril. Isto em comparação com a situação em que ambos (superfície de contato da roda e cabeça do carril) apresentem valores de corrugação reduzidos (Thompson, 2009).

Tal pode ser observado, a título ilustrativo, na figura 21, a qual apresenta resultados previsionais dos diferentes níveis de ruído de rolamento emitidos por composições ferroviárias com frenagem de discos, mas em função do grau de desgaste ondulatório da cabeça do carril, a partir do método previsionais de ruído ferroviário CNOSSOS (2012). Para esta simulação, consideraram-se dois carris representativos de duas situações: carril com manutenção regular e magnitude de corrugação pouco elevada e carril apresentando uma magnitude de corrugação elevada e com pouca manutenção. Ambos são

combinados com rodas pertencentes a composições com frenagem por discos. A distância à via considerada foi de 7,5 m e a velocidade das composições normalizada a 120 km/h.

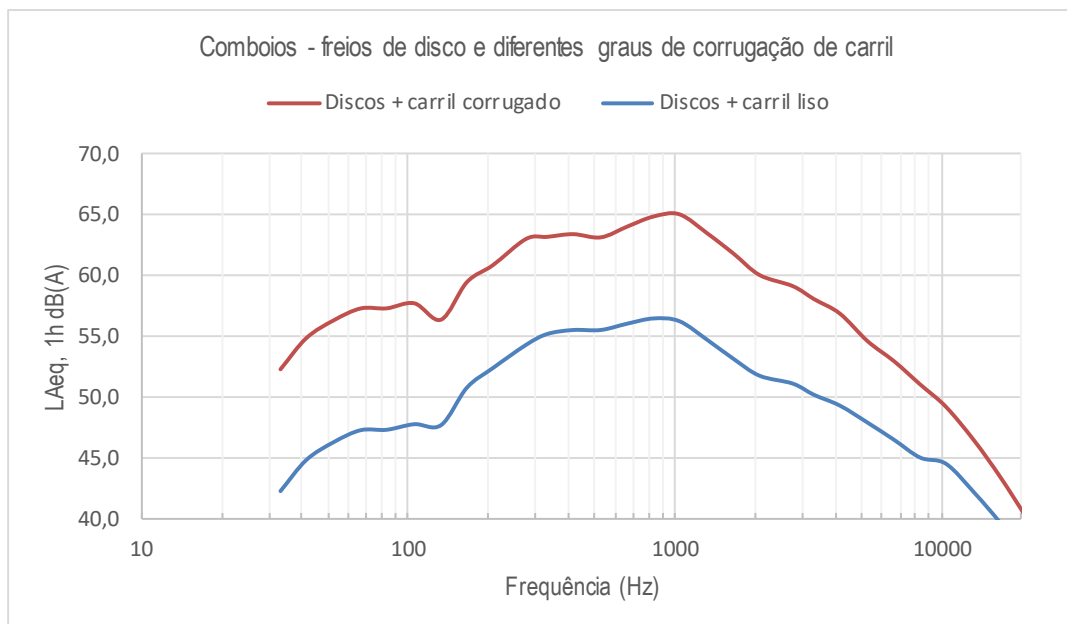


Figura 21. Diferentes níveis sonoros de emissão em função da frequência e para diversos graus de corrugação do carril (CNOSSOS, 2012).

Os valores totais obtidos para o ruído de rolamento das composições (a 7,5 m) são de 74 dB(A), para o sistema de frenagem por discos, com carril apresentando elevada magnitude de corrugação e 66 dB(A) para o sistema de frenagem por discos, mas com carril apresentando baixa magnitude de corrugação. As diferenças estimadas pelo modelo são da ordem dos 7 a 8 dB.

Os benefícios (ou seja, reduções), nas emissões de ruído aéreo, encontram-se bem estabelecidos e confirmados (Thompson, 2008, 2009, 2014; Grassie, 2012; Scossa-Romano, 2012; Tumavice, 2017).

A magnitude da corrugação aumenta com o tempo devido à utilização normal da via. Visto existir uma correlação direta entre a magnitude do desgaste ondulatório e os níveis sonoros emitidos pelo conjunto roda/carril, as ações de esmerilagem corretiva do desgaste ondulatório de carris deveriam ser efetuadas com alguma regularidade e inseridas em programas de manutenção das medidas de minoração.

Tal garantiria os benefícios (cumulativos com outras medidas) oferecidos por este tipo de intervenção, em termos de redução do ruído de rolamento. Esta ação de manutenção periódica é sugerida para toda a extensão da Linha de Cascais.

Outras ações e intervenções

Finalmente, deverão ser consideradas medidas que se revelam importantes, a médio e longo prazo, para a eficácia real e percebida das mesmas, tal como a elaboração e execução de programas regulares de manutenção/monitorização das medidas de minoração implementadas (e a implementar) e de ações a desenvolver junto ao público, de modo a promover a *goodwill*.

Os programas de verificação, monitorização e manutenção das medidas de controlo de ruído permitirão mantê-las em bom estado de funcionamento e garantir a manutenção dos graus de perda de inserção projetados. As ações de verificação justificam-se pela exposição das medidas às grandes variações de cargas dinâmicas e às condições meteorológicas exteriores em cada local.

O programa aplicado às barreiras acústicas deverá verificar a consistência da sua instalação, nomeadamente os seus pontos fracos em termos de isolamento sonoro como sejam as junções dos painéis com perfis de suporte ou entre painéis (se se tratar de barreira modular de painéis). Estas juntas são normalmente equipadas com materiais do tipo *neoprene* que se degradam com o tempo e com a exposição aos elementos atmosféricos. Tal degradação pode criar pontes fónicas que irão comprometer seriamente os valores de atenuação sonora que foram projetados. Esta ação de monitorização revestirá a forma de visita técnica e observação e análise pericial no sentido de verificar as juntas e identificar eventuais aberturas bem como painéis que possam necessitar de ser substituídos. A ação não tem de incluir quaisquer ensaios de acústica. Dado o alargado tempo de vida previsto para este tipo de solução (nunca inferior a 15-20 anos) julga-se suficiente a implementação do programa em cada ciclo de cinco anos.

As ações comunicacionais podem incluir (i) a comunicação direta com o público em geral, não só para informar sobre intervenções na via relevantes para a minoração do ruído, mas também para gerir eventuais queixas e reclamações sobre o ruído, e (ii) a manutenção da circulação de informação entre os vários *stakeholders* (operadores, câmaras, público).

A Tabela 5 apresenta um resumo das tipologias de medidas e soluções propostas e dos correspondentes graus de eficácia esperados.

De notar que os valores de eficácia esperados são adicionados (cumulativamente) em termos de energia, a qual é quantificada por níveis (de forma logarítmica, em dB), pelo que os benefícios parcelares não podem genericamente ser adicionados de forma linear.

Tabela 5. Tipologia e eficácia das medidas propostas.

Soluções	Grupo	Intervenção	Medida de redução de ruído	Eficácia esperada
Métodos diretos	Na fonte	Linha	Eliminação das juntas/juntas soldadas Travessas betão monobloco	Até 5 dB(A)
			Esmerilagem acústica: (carril com manutenção regular)	Até 5 dB(A)
			Esmerilagem acústica (carril com grande desgaste ondulatorio visível)	Até 10 dB(A)
		Material circulante	Substituição do atual material circulante (UTE/UQE 3150/3250)	Até 6 dB(A)
	No percurso da transmissão sonora (aérea)	-	-	-
Métodos indiretos	-	Verificação/ Monitorização de medidas	-	-
	Gestão de incomodidade	Comunicação com o público Informação de ações desenvolvidas	-	-

Constituindo-se o presente PA como um estudo de viabilidade de soluções minoradoras de ruído, as especificações das várias intervenções e medidas propostas (por ex. extensão, altura) são meramente indicativas, devendo as respetivas soluções técnicas ser alvo de projeto de execução, em sede do qual serão devidamente otimizadas e detalhadas.

9. Redução do ruído: intervenções e medidas

9.1 Soluções técnicas

Na Tabela 6 são apresentadas as medidas de controlo e de redução do ruído preconizadas para as zonas de intervenção do PA da Linha de Cascais.

Tabela 6. - Medidas de redução do ruído para as zonas de intervenção do PA da Linha de Cascais.

ID Zona	Município	Troço de Linha	Medida de redução de ruído	Obs.
1	Lisboa	Todo o troço	Renovação integral de via	-
		Todo o troço	Substituição do material circulante	Substituição das UTE/UQE 3150/325 por novas automotoras (a cargo da CP)
		Todo o troço	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
		-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
2, 3, 4, 5, 6	Oeiras	Todos os troços	Renovação integral de via	-
		Todos os troços	Substituição do material circulante	Substituição das UTE/UQE 3150/325 por novas automotoras (a cargo da CP)
		Todos os troços	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
		-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
6, 7, 8, 9, 10, 11	Cascais	Todos os troços	Renovação integral de via	-
		Todos os troços	Substituição do material circulante	Substituição das UTE/UQE 3150/325 por novas automotoras (a cargo da CP)
		Todos os troços	Esmerilagem periódica dos carris	Minoração do ruído de rolamento
		-	Manutenção/monitorização das medidas implementadas	-
-	-	-	Comunicação, informação	Gestão da incomodidade percebida pelas populações






9.2 Análise de eficácia

Para as onze zonas de intervenção identificadas nos mapas de conflito, foram recalculados os conflitos remanescentes após adoção otimizada das diferentes soluções preconizadas.

As Figuras 22 a 36, que apresentam extratos dos mapas de conflitos para cada uma das zonas, mostram a exposição ao ruído dos edifícios implantados no território de cada zona envolvente da Linha de Cascais com usos do solo identificados como sensíveis ao ruído (edifícios de habitação, edifícios escolares e edifícios de serviços de saúde), ilustrando a situação existente e a situação futura prevista, após adoção das medidas identificadas para as diferentes zonas consideradas.

As figuras revelam os benefícios em termos de redução de ruído conseguida pela adoção das correspondentes medidas, resultantes das ações combinadas do gestor da infraestrutura (IP) e do operador (CP).

Foi adotado para o edificado o código de cores correspondente aos conflitos:

	Edifícios com usos não sensíveis ou de construção recente
	Edifícios com usos sensíveis sem conflitos
	Edifícios com usos sensíveis com conflito ≤ 3 dB
	Edifícios com usos sensíveis com conflito entre 3 dB e 5 dB
	Edifícios com usos sensíveis com conflito > 5 dB

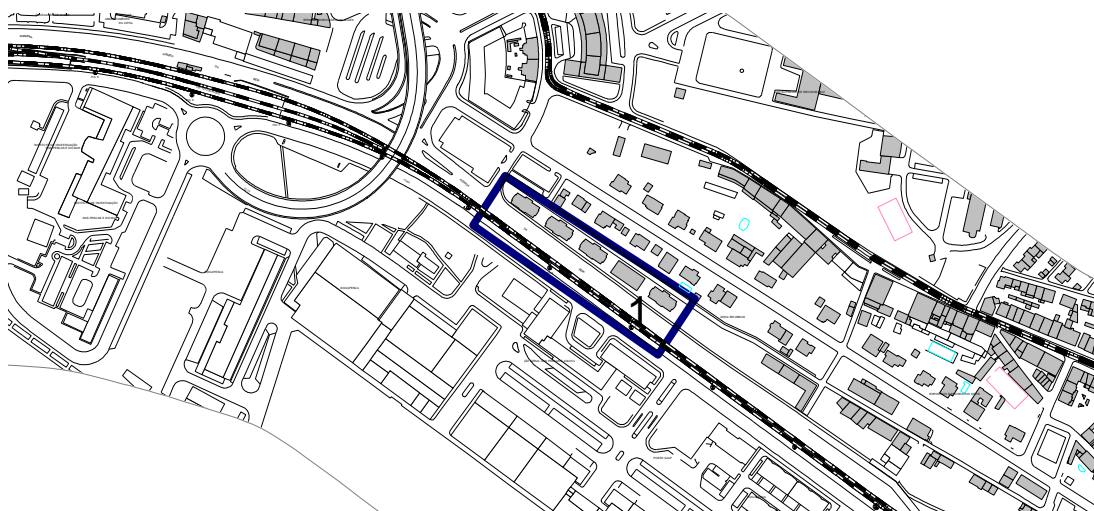
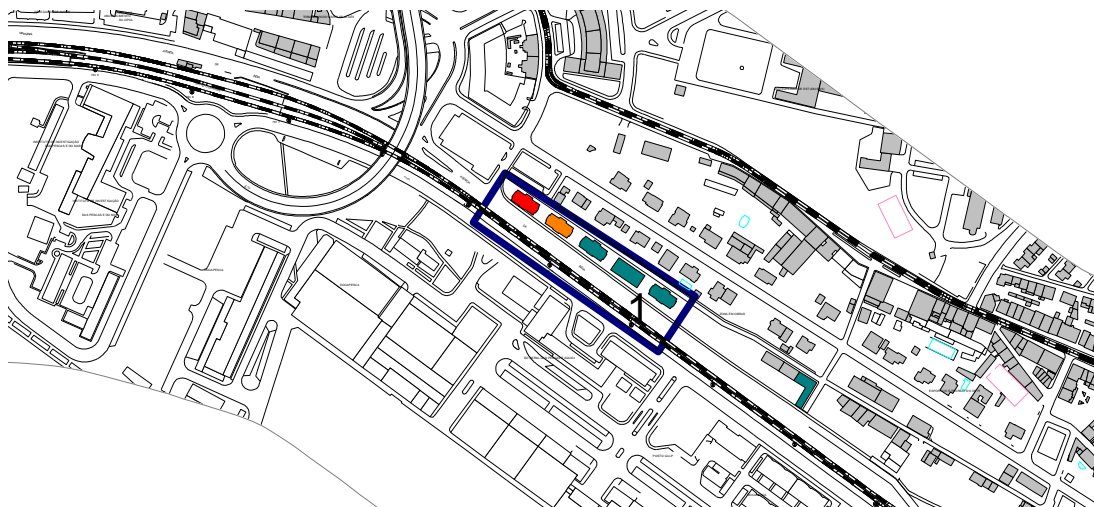


Figura 22. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 1 (Belém - Algés).



Figura 23. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 2 (Algés)

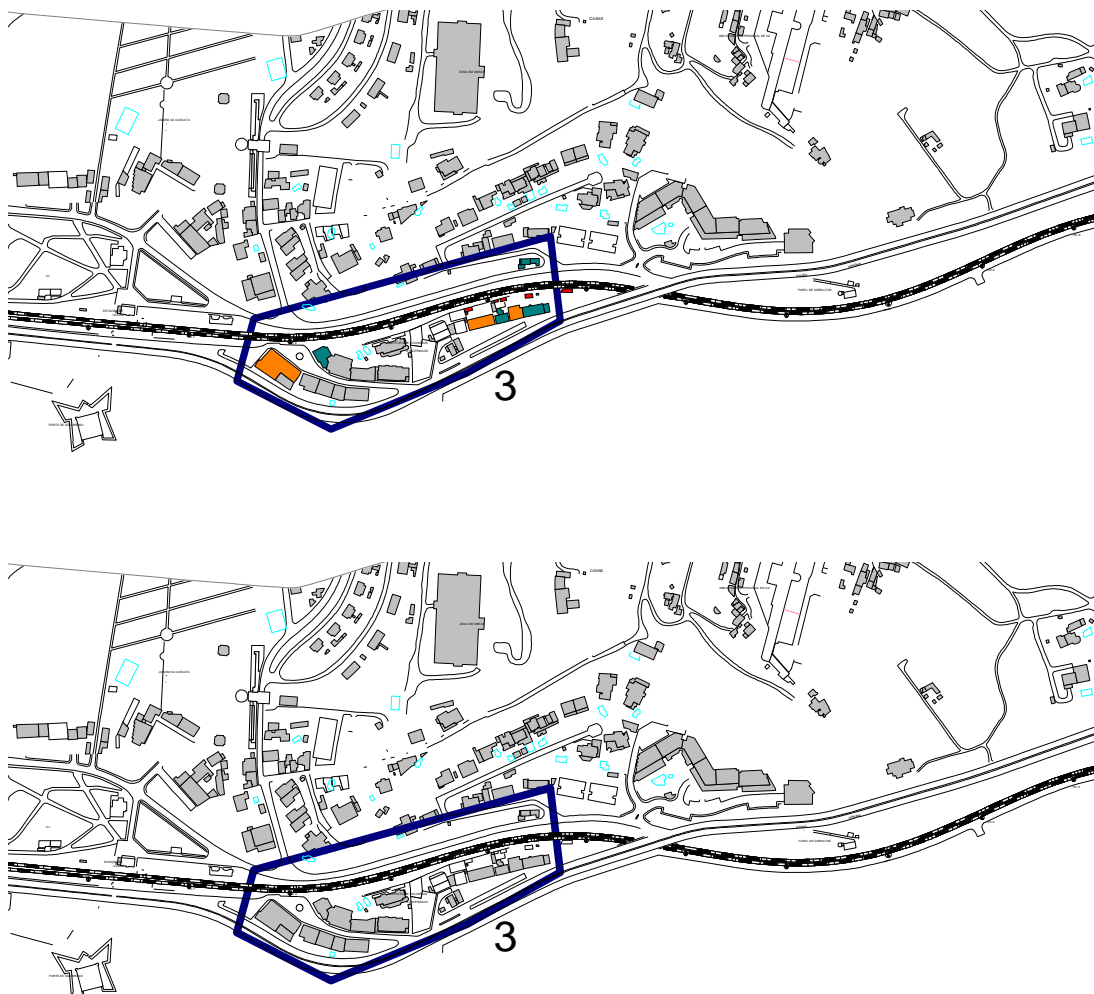


Figura 24. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 3 (Caxias).



Figura 25. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 4 (Caxias - Paço de Arcos)



Figura 26. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 4 (Paço de Arcos)



Figura 27. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 4 (Paço de Arcos – Santo Amaro de Oeiras)



Figura 28. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 5 (Santo Amaro de Oeiras)



Figura 29. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 6 (Oeiras)

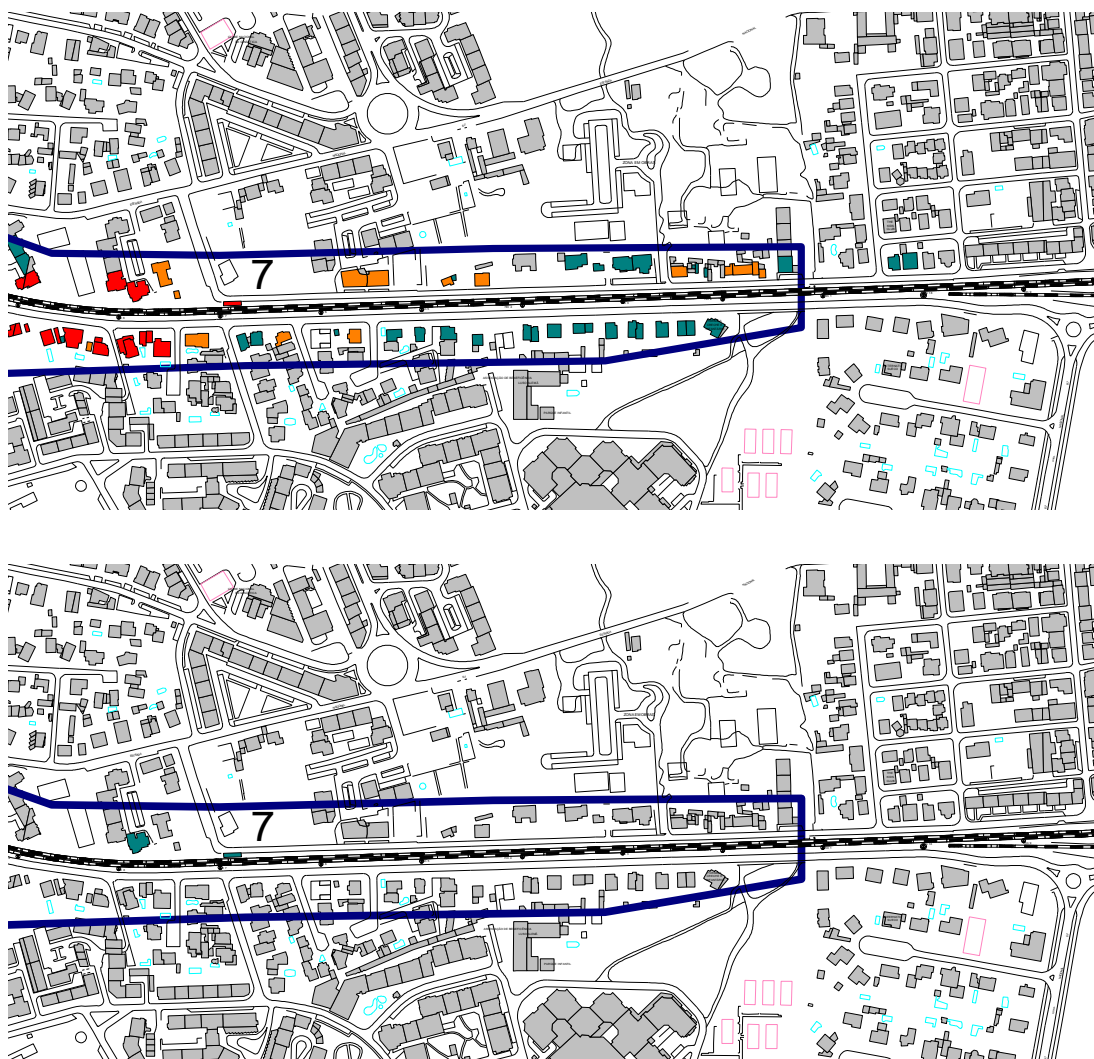


Figura 30. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 7 (Carcavelos - Parede)



Figura 31. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 7 (Carcavelos - Parede)



Figura 32. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 8 (Paredes - São Pedro)



Figura 33. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 9 (São Pedro)

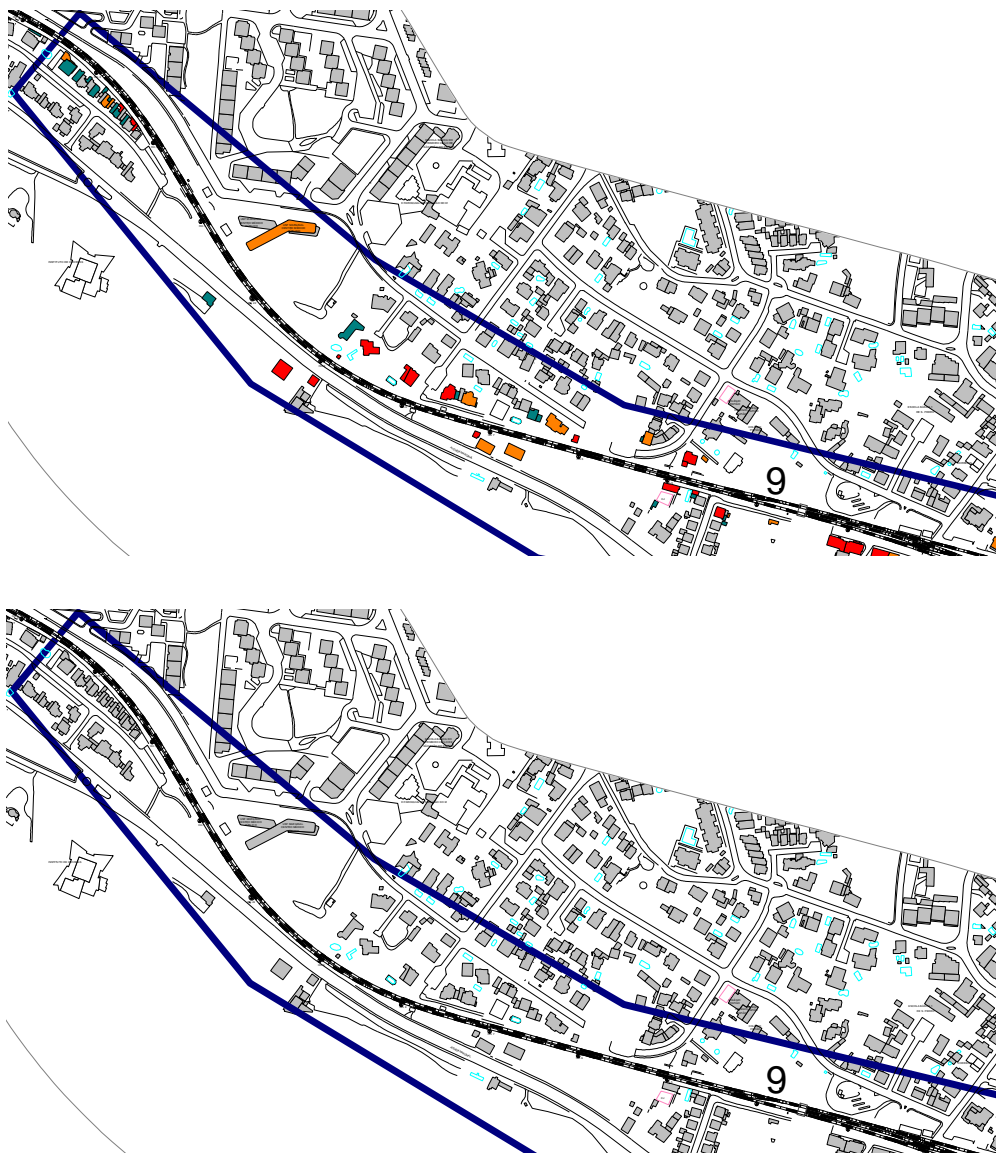


Figura 34. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 9 (São Pedro - São João do Estoril)

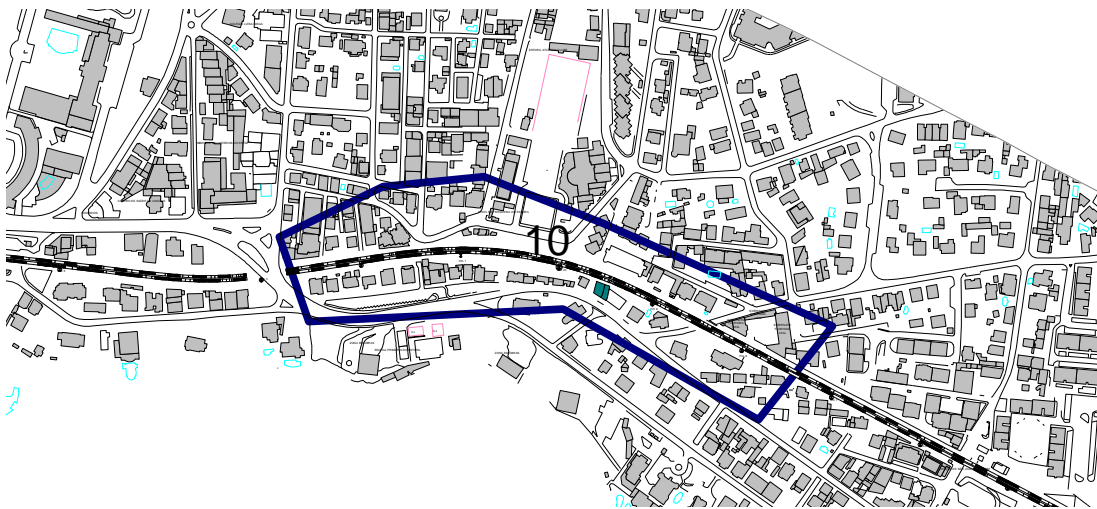
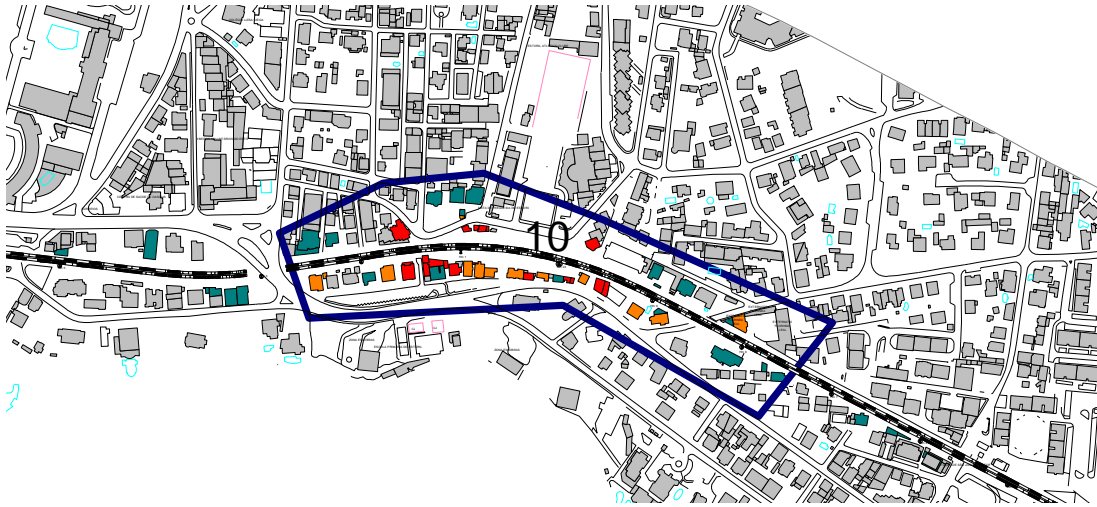


Figura 35. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 10 (São João - Estoril)



Figura 36. Exposição do edificado ao ruído – Cima: situação existente; Baixo: situação futura – Zona 11 (Monte Estoril)

As Tabelas 7 e 8 revelam a eficácia das medidas preconizadas, em termos da redução do número de população residente (unidades) e do edificado, com usos sensíveis ao ruído, expostos às três classes de conflito, com a adoção das medidas de redução de ruído relevantes. Os valores apresentados referem-se à população estimada e ao edificado com uso sensível contabilizados nas várias zonas de intervenção.

No caso da situação futura, como se pode constatar pelos valores indicados nas tabelas, o número de pessoas residentes quer na classe de maior conflito (> 5 dB), quer na classe intermédia de conflito (entre 3 e 5 dB), é reduzido em 100%, ou seja, deixa de haver residentes expostos a níveis de ruído elevados. O número total de pessoas residentes nestas classes é, assim, reduzido de 2672 a zero (redução de 100%), sendo que o número de pessoas residentes na classe de menor conflito (≤ 3 dB) reduz-se em cerca de 4%. Esta pequena variação ou até o aumento pontual de população verificado no caso da classe de vigilância (≤ 3 dB), pode ser explicada com a transferência dos números de população exposta das classes superiores a 3 dB. No total, o número de pessoas residentes em todas as três classes de conflito passa de 3719 para 1003, o que corresponde a uma redução de 73%.

Os benefícios em termos da redução dos números da população residente, exposta a níveis sonoros excessivos, demonstram que as ações de intervenção preconizadas podem ser consideradas totalmente eficazes.

Em termos do edificado exposto ao ruído, o número estimado de edifícios quer na classe de maior conflito (> 5 dB), quer na classe intermédia de conflito (entre 3 e 5 dB) é reduzido em 100%, e o número estimado de edifícios na menor classe de conflito (≤ 3 dB) passa de 449 para 55 (redução de 87%). No total, o número estimado de edifícios expostos em todas as três classes de conflito passa de 802 para 55, o que corresponde uma redução de 93%.

O gráfico da figura 37 ilustra a total eficácia das medidas de minoração preconizadas, em termos de redução do número total de população exposta a níveis de ruído ferroviário superiores em 3 dB em relação ao valor limite, quando comparada com a situação atual na Linha de Cascais.

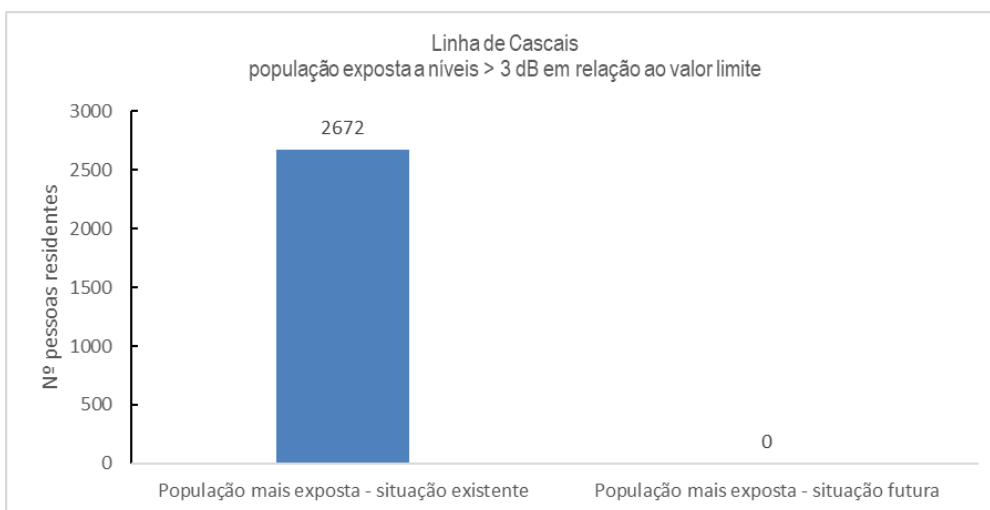


Figura 37. Redução do número da população residente exposta após implementação das medidas preconizadas. Contabilização para todas as zonas de intervenção.

Tabela 7. – População residente (em unidades), exposta às três classes de conflito, para a situação existente e para a situação futura com as medidas de redução de ruído.

ID Zona	Município	Início / fim (pk)	Situação Existente			Situação Futura		
			Popul. exist ≤ 3 db	Popul. exist > 3 - ≤ 5 dB	Popul. exist. > 5 dB	Popul. prev. ≤ 3 db	Popul. prev. > 3 - ≤ 5 dB	Popul. prev. > 5 dB
1	Lisboa	7+270 / 7+490	46	17	17	0	0	0
2	Oeiras	8+860 / 9+600	135	212	498	498	0	0
3	Oeiras	11+335 / 11+650	12	19	0	0	0	0
4	Oeiras	11+970 / 14+610	291	384	899	462	0	0
5	Oeiras	14+870 / 15+770	163	58	128	14	0	0
6	Oeiras-Cascais	16+750 / 17+020	12	15	6	0	0	0
7	Cascais	18+125 / 19+310	133	105	65	15	0	0
8	Cascais	19+780 / 20+200	16	20	66	7	0	0
9	Cascais	20+420 / 22+360	199	29	89	0	0	0
10	Cascais	22+740 / 23+275	40	24	20	7	0	0
11	Cascais	23+960 / 24+100	0	1	0	0	0	0
Totais parciais			1047	884	1788	1003	0	0
Totais globais			3719			1003		

Tabela 8. Número de edifícios, com usos sensíveis ao ruído, exposto às três classes de conflito para a situação existente e para a situação futura com as medidas de redução de ruído.

ID Zona	Município	Início / fim (pk)	Situação Existente			Situação Futura		
			Edif. exist ≤ 3 dB	Edif. exist > 3 - ≤ 5 dB	Edif.exist. > 5 dB	Edifl. prev. ≤ 3 dB	Edif. prev. > 3 - ≤ 5 dB	Edif. prev. > 5 dB
1	Lisboa	7+270 / 7+490	3	1	1	0	0	0
2	Oeiras	8+860 / 9+600	29	22	9	9	0	0
3	Oeiras	11+335 / 11+650	19	3	0	0	0	0
4	Oeiras	11+970 / 14+610	69	24	92	28	0	0
5	Oeiras	14+870 / 15+770	26	5	13	1	0	0
6	Oeiras-Cascais	16+750 / 17+020	27	5	2	0	0	0
7	Cascais	18+125 / 19+310	59	23	23	2	0	0
8	Cascais	19+780 / 20+200	61	12	38	9	0	0
9	Cascais	20+420 / 22+360	108	18	28	3	0	0
10	Cascais	22+740 / 23+275	47	13	19	3	0	0
11	Cascais	23+960 / 24+100	1	2	0	0	0	0
Totais parciais			449	128	225	55	0	0
Totais globais			802			55		

9.3 Informações financeiras

Para as medidas consideradas no conjunto de intervenções denominado de situação futura, não se dispõe de informação adequada à estimação de valores financeiros no que respeita à substituição das composições da Linha de Cascais. Acrescenta-se que, a renovação integral de via e a substituição do material circulante são medidas de âmbito global, que se aplicam a toda a extensão da Linha de Cascais e que, por consequência, o seu custo não pode ser alocado na íntegra à resolução do problema do ruído pois a sua efetivação acontece cumulativamente por outras motivações, tais como, segurança, custos de manutenção, conforto do passageiro, frequência e velocidade do serviço de transporte, etc..

Para o programa de verificação e monitorização das barreiras acústicas existentes estima-se um valor para os cinco anos do plano de cerca de 1 500€.

Não é apresentada estimativa correspondente a outras medidas (modernização da via, esmerilagem), por se não dispor de informação apropriada.

10. Planeamento das ações

10.1 Hierarquização temporal

As obrigações decorrentes do atual enquadramento legal, levaram a IP a elaborar os MER da GIF Linha de Cascais com o objetivo de dispor de um diagnóstico da situação acústica existente. O presente PA vem definir um conjunto de ações concertadas para uma melhoria continuada e sustentada do ambiente sonoro na envolvente desta GIF.

A otimização do conjunto das propostas e seus resultados passa por uma hierarquização das intervenções, cuja adoção tem de ser balizada não só pelos benefícios esperados e pelos aspetos práticos e económicos da sua execução mas igualmente por eventuais aspetos funcionais que envolvam sequências de operação bem como pelos resultados de novas avaliações, tendo em conta o curto prazo (cinco anos) de um plano que envolve ações cuja execução pode revelar-se complexa para tal período.

O período de cinco anos do plano poderá ser dividido em duas fases: a primeira correspondente aos primeiros três anos e a segunda aos dois anos subsequentes. Nesta segunda fase, será realizada o próximo diagnóstico, através da execução do MER atualizado.

Na primeira fase, nos primeiros três anos após a aprovação do PA, serão compreendidas as seguintes ações:

- a) Preparação e planeamento das intervenções para modernização/renovação integral da via.
- b) Preparação e planeamento da ação de substituição, a cargo da CP, do atual material circulante UTE/UQE 3150/3250, por automotoras novas.

Trata-se de uma fase extensa e complexa, a qual pode envolver intervenções profundas como a alteração do sistema elétrico da linha. A execução exige uma complexa fase de orçamentação e projeto(s) de engenharia pelo que esta ação deverá ser iniciada na primeira fase do plano.

- c) Ações de verificação e monitorização das medidas de controlo de ruído já implementadas.
- d) Ações de sensibilização e informação sobre o ruído para a comunidade em geral.

A segunda fase, correspondente aos dois anos seguintes, compreende as seguintes ações:

- a) Execução das intervenções para modernização/renovação integral da via.
- b) Execução do programa de substituição do material circulante.
- c) Esmerilagem periódica dos carris.
- d) Continuidade das ações de sensibilização e informação.

10.2 Ação estratégica a médio/longo prazo

As ações propostas neste PA, aqui identificadas, detalhadas e planificadas resultam de uma análise exaustiva e detalhada de potenciais tipologias de medidas e estratégias direcionadas para gestão, controlo e redução do ruído gerado por uma GIF, em termos de benefícios, de exequibilidade prática e funcional e de custos. Foram estudadas, no âmbito da elaboração do presente PA as práticas correntes e bem-sucedidas em matéria de controlo, redução e gestão do ruído a nível europeu, integrando o conhecimento e experiência de situações semelhantes, seus benefícios e custos.

As medidas de redução de ruído, especificamente propostas no âmbito do presente PA da Linha de Cascais, serão implementadas no curto a médio prazo. Devem integrar-se no contexto da política ambiental da IP para a promoção da proteção ambiental e desenvolvimento sustentável. A gestão ambiental da IP fica assim orientada para todo o ciclo de vida das infraestruturas.

De facto, embora as ações previstas no âmbito da situação futura sejam recomendadas para implementação a curto prazo, é reconhecido que a sua execução prática poderá ultrapassar o curto prazo do presente plano, essencialmente por razões de ordem prática ou orçamental. Os benefícios em termos de ambiente sonoro da sua implementação são bem patentes pelo que tais medidas integram a estratégia a médio/longo prazo da IP.

A estratégia de médio/longo termo da IP passa, ainda, pela manutenção das condições de bom ambiente sonoro na sua envolvente, através dos seus programas de verificação e monitorização regular das soluções de controlo/redução de ruído e de comunicação com as populações. O programa de monitorização das medidas será implementado em cada ciclo de cinco anos para garantia de boa conservação e manutenção das perdas de inserção preconizadas em cada local.

Também num prazo temporal mais dilatado, a corrente operação e manutenção de uma GIF implica diversas interações com *stakeholders* externos, como seja a resposta a solicitações sobre matérias ambientais, com realce para a gestão do ruído.

Mesmo antes de respeitar escrupulosamente a legislação vigente e os diferentes regulamentos que daí advém, a IP está consciente dos problemas de compreensão pela população não só dos vários aspetos legais, mas também dos benefícios a médio/longo prazo das ações de redução de ruído. A IP encontra-se empenhada em ações de pedagogia no que respeita às populações afetadas pelo ruído ferroviário, a incluir nos seus projetos de desenvolvimento e de modernização.

As ações comunicacionais, de sensibilização e de participação pública destinam-se não só a gerir as emissões de ruído, mas igualmente a perceção do ruído pelas populações equacionada com as vantagens da vizinhança de uma infraestrutura de mobilidade, de elevado valor para a vivência quotidiana.

A elaboração de folhetos informativos (em suporte papel ou digital) poderá acompanhar estas ações a fim de serem mais eficazes. A isto se pode acrescentar a implementação de sítio na Internet que facilite e agilize a interação do público com a IP.

As ações informativas serão estendidas às populações com campanhas de informação sobre o plano de ação de ruído da IP, a partir dos resultados dos mapas de ruído e das ações de monitorização e sobre as características sonoras dos ambientes urbanos/suburbanos/periurbanos da envolvente da GIF, no sentido das populações melhor entenderem o conceito da perceção sonora ambiental.

Ao estabelecer esta rede de informação, a IP tem a intenção de criar um ambiente de transparência perante as populações afetadas pelo ruído resultante da utilização da GIF que permitirá uma maior compreensão dos esforços, por parte da IP, em minorar os incómodos e perturbações sofridos pelas populações expostas. Como objetivo último, estas poderão revelar-se potencialmente mais tolerantes com futuros aumentos da intensidade de exploração da infraestrutura ferroviária.

A IP continuará a acompanhar, em articulação com Operadores e Câmaras Municipais afetadas, a robustez e acessibilidade do atual processo de comunicação de solicitações/reclamações no âmbito do ruído gerado pelas várias operações ferroviárias.

Podem-se equacionar futuras ações de acompanhamento, a estruturar no longo prazo, consoante justificável, como sejam:

- Inquirir sobre a resposta das comunidades/populações (grau de incomodidade) no que respeita ao ruído de origem ferroviário;
- Inquirir sobre a relevância/papel das emissões sonoras devido às GIF no âmbito de uma caracterização da paisagem sonora envolvente da linha.

10.3 Monitorização da implementação do PA

A execução do presente PA resultará numa substancial diminuição da extensão das linhas isofónicas correspondentes ao ruído de circulação ferroviária, e, como tal, da população exposta ao ruído ferroviário. As zonas de vizinhança da Linha de Cascais exibem numa considerável parte da sua extensão uma concorrência com outras fontes, especificamente devido à circulação rodoviária. O objetivo do PA constitui-se na diminuição da contribuição ferroviária para o ruído global. O número de pessoas expostas a tal contribuição constitui então a métrica principal para avaliação dos benefícios recolhidos com a execução do PA.

Os prazos de execução de algumas medidas podem ser extensos, mas importará no final do prazo avaliar as resultantes alterações no ambiente sonoro e na exposição das populações. Tal poderá ser conseguido através da próxima fase de mapeamento de ruído (MER) que ocorrerá durante o período final de vigência do plano. Deste modo, o PA do próximo ciclo será balizado pelos resultados comparativos dos MER, tendo em conta eventuais alterações de tráfego, se for o caso.

Os MER do próximo ciclo constituirão um diagnóstico da situação do ambiente sonoro atualizada e darão conta dos benefícios introduzidos pelas medidas entretanto implementadas.

11. Quadro resumo

O Quadro seguinte resume todas as ações tendentes a reduzir o ruído ferroviário resultante da exploração da Linha de Cascais.

Nº	Ação	Calendarização
1	Renovação Integral da Via	Planeado
2	Substituição do material circulante (UTE/UQE 3150 e 3250 por automotoras novas)	Planeado
3	Modernização de troços da via	Implementado / Planeado
4	Implantação de barreiras acústicas	Implementado
5	Programa de esmerilagem periódica dos carris	Planeado
6	Programa de verificação e monitorização das medidas de controlo de ruído implementadas	Planeado
7	Circulação de informação entre os vários <i>stakeholders</i> (Gestor de infraestrutura, Operadores, Câmaras, Tutela)	Planeado
8	Estabelecimento de procedimento otimizado de gestão de queixas e reclamações de ruído	Planeado
9	Desenvolvimento de plataformas de informação ao público e à comunidade técnica sobre ruído ferroviário e das ações para o seu combate e gestão	Planeado
10	Informação às populações e ao público em geral dos resultados da implementação das medidas previstas no PA	Planeado
11	Elaboração regular de mapas de ruído para diagnóstico do ambiente sonoro na envolvente da Linha de Cascais (Mapas Estratégicos de Ruído, no âmbito do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho)	Implementado / Planeado

Bibliografia

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2008), *Modelação de ruído de tráfego ferroviário*, Proc. Congresso Acústica 2008, V Congresso Ibérico de Acústica, XXXIX Congresso Espanhol de Acústica TECNIACÚSTICA 2008.

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2009), *The adaptation of the interim calculation method for railway noise to the portuguese rolling stock*, Proc. EURONOISE 2009.

Alarcão, D. e Bento Coelho, J. L. (2013), *An experimental assessment on the performance of fixed rail curve squealing noise mitigation*, Noise Control Engineering Journal, J. 61 (6).

Altenbaher, B., Goltnik, D., Rosi, B. (2015), *Railway Noise Reduction by the Application of CHFC material on the rail*, Transport Problems/Problemy Transportu V. 10, Issue 2, 5-14.

Agência Portuguesa do Ambiente (2011), *Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído*, versão 3, Dezembro 2011.

Carvalho, J. et al. (2018), *Eco sustainable Rail – Valorisation of Mixed Plastics in the Development of Eco-Sustainable Railways*, European Journal of Sustainable Development, 7,6, 489-495, 2018.

Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSUS-EU) (2012), Report EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 180 pp.

Cost Study on Noise Mapping and Action Planning, European Commission (1999) – DGXI D.3 Urban Environment, COWI.

Declaração de Rectificação nº18/2007 de 16 de Março, que retifica o Decreto-Lei n.º 9/2007, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, retificado pela Declaração de Retificação n.º 57/2006 de 31 de agosto.

Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro.

Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto, que altera o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído.

Decreto-Lei n.º 316-A/2019 de 6 de setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) 2015/996 da Comissão, de 19 de maio de 2015, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, alterando o Anexo II do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho.

Dings, P. C., Dittrich, M. G. (1996), *Roughness on Dutch Railway Wheels and Rails*, Journal of Sound and Vibration, 193(1), 103-112.

Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

Dumitriu, M., Cruceanu, I. (2017), *On the Rolling Noise Reduction by Using the Rail Damper*, Journal of Engineering Science and Technology Review 10(6), 87-95.

European Parliament Policy Department (2012) *Reducing Railway Noise Pollution*. Produced for the European Parliament's Committee on Transport and Tourism Environment by the Directorate-General For Internal Policies, Brussels.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2017) – *Noise in Europe 2017: updated assessment*, ETC/ACM Technical Paper 2016/13.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY/EPA Network (2018) – *Decision and cost/benefit methods for noise abatement measures in Europe*: M+P BAFU 15.02.1, February 2018.

ECOSSISTEMA FERROVIÁRIO PORTUGUÊS (2019), documento publicado pela AMT - Autoridade da Mobilidade e dos Transportes, dezembro 2017.

Ferreira, A., Bento Coelho, J. L. (2009), *Critérios para a análise de relações exposição-impacte do ruído de infraestruturas de transporte*, CAPS/IST, Parecer para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

Grassie, S. L. (2012) *Rail irregularities, corrugation and acoustic roughness: characteristics, significance and effects of reprofiling*, Proc IMechE, Part F: J Rail Rapid Transit 2012; 226(5): 542–557.

International Union of Railways, UIC (2010) *The Railway Noise Bonus: discussion paper on the noise annoyance correction factor*. Produzido pela DHV B.V. para a International Union of Railways, Paris.

International Union of Railways, UIC (2011) *Exploring bearable noise limits and ceilings for the railways: part I*. UIC001-01-15, dBvision, 2/108.

International Union of Railways, UIC (2013) *Railway Noise Technical Measures Catalogue*, UIC003-01-04fe, dBvision, May 2013.

Livro Branco da Comissão Europeia (2011), *Roteiro do espaço único europeu dos transportes*, Comissão das Comunidades Europeias, COM (2011).

Livro Verde da Comissão Europeia (1996), *Futura Política de Ruído*, Comissão das Comunidades Europeias, COM (96).

Linee guida per l'elaborazione di piani comunali di risanamento acustico (1998), Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

Lewis, R. & Olofsson, U. (2009), *Wheel–Rail Interface Handbook*, Woodhead Publishing Limited: UK.

Lercher, P. et al. (2013), *Psychoacoustic assessment of railway noise in sensitive areas and times: is a railway bonus still appropriate?* Proc. INTER-NOISE Vol. 247, N°2, 5900-5907.

Le Bruit Ferroviaire en Questions & Réponses (2018), documento editado por France Nature Environment e SNCF Réseau, dezembro 2018.

Miedema, H.; Oudshoorn, C. (2001). *Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and their Confidence Intervals*, Environmental Health Perspectives, vol. 109, n°4, pp 409-416.

Miedema, H. (2002). "Relationship between exposure to single or multiple transportation noise sources and noise annoyance", Technical Meeting on exposure-response relationships of noise on Health, WHO-Europe, Bonn, Alemanha.

Noise in Europe 2014 – European Environmental Agency – EEA, Report No. 10/2014

Nieuwenhuizen, E., Yntema, N. (2018), *The effect of close proximity, low height barriers on railway noise*, Proc. Euronoise 2018 Crete, 1375-1379.

Popp C. (2000), *Communicating noise to the public without talking in technical jargon*, Proc. INTERNOISE 2000, 4-2241.

Pieren, R. et al. (2017), *Auralization of railway noise: Emission synthesis of rolling and impact noise*. Applied Acoustics 127 (2017): 34–45.

Regulamento Geral do Ruído, Decreto-Lei n.º 9/2007, 17 de janeiro de 2007, retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 de 16 de março.

Regulamento (UE) No 1304/2014 DA COMISSÃO de 26 de Novembro de 2014 relativo à especificação técnica de interoperabilidade para o subsistema «material circulante – ruído» e que revoga a Decisão 2011/229/UE, Jornal Oficial da União Europeia, L 356/421.

Scossa-Romano, E., Oertli, J. (2012) *Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers: A report on the state of the art*. Produced for the Schweizerische Bundesbahnen SBB/UIC, Bern.

Science for Environment Policy (2017) *Noise abatement approaches*. Future Brief 17. Produced for the European Commission DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol. Disponível em: <http://ec.europa.eu/science-environment-policy>

The SILENCE European Project (2008) *Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans*, 6th Framework Programme. Disponível em <http://www.noiseineu.eu/en/3527-a/homeindex/file?objectid=3161&objectypeid=0>

Thompson, D. J. (2008), *A continuous damped vibration absorber to reduce broad-band wave propagation in beams*, Journal of Sound and Vibration 311 824–842.

Thompson, D. J. (2009), *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, Elsevier: Oxford.

Thompson, D. J. (2014), *Railway Noise and Vibration: The Use of Appropriate Models to Solve Practical Problems*, Proc. ICSV21 2014.

Tumavice, A. et al. (2017), *Effectiveness analysis of railway noise mitigation measures*, GRADEVINAR, 69 (2017) 1, 41-51. Disponível em: <http://doi.org/10.14256/jJCE.177.2016>

de Vos, P. (2016) *Railway Noise in Europe, State of the Art Report. Prepared for the International Union of Railways, (UIC), Paris.*

de Vos, P., van Leeuwen, H. J.A. (2018), *Remaining Research Topics for Railway Noise Control*, Proc. Euronoise 2018 Crete, 1001-1005.

WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018), World Health Organization.